



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŘÍDÍCÍ SYSTÉM S HMI DISPLEJEM

INDUSTRIAL APPLICATION OF TS DISPLAYS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Chytil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**
Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Lukáš Chytil

ID: 158151

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém s HMI displejem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte řídicí systém pro generátor aktivního kyslíku řízený HMI displejem. Navrhněte obslužné programy pro komunikaci HMI displeje s obsluhou generátoru. Funkčnost zařízení demonstруйте na procesu, ve kterém je generátor řízen s cílem dosažení minimální spotřeby tekutého kyslíku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 22.5.2018

Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fojcik, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá především návrhem řídicí jednotky, která má za úkol obsluhovat průmyslové zařízení, sloužící pro dezinfekci bazénové vody či obytných místností. Navržená řídicí jednotka se snaží o regulaci výkonu a průtoku, který je řízen za pomoci elektronického ventilu s průtokoměrem. Celý design je zaměřen na minimalizaci provozních nákladů (především spotřebovaného tekutého kyslíku). Interakce s obsluhou je zajištěna za pomoci HMI displeje. Dále je také snahou poukázat na důležitost aplikace takovýchto displejů v průmyslu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dezinfekce, HMI, displeje, dotykové technologie, komunikační rozhraní, aktivní kyslík, řídicí jednotka, provozní náklady.

ABSTRACT

This master thesis describes the design of control unit, which has the task to operate industrial facilities for disinfection of swimming pools or living rooms. The designed control unit is trying to regulate power and flow rate, which is controlled by electronic valve with a flowmeter. The whole design is aimed at minimizing operating costs (mainly consumed liquid oxygen). Interaction with the operator is ensured by the HMI display. There is also an effort to highlight the importance of HMI applications in the industry.

KEYWORDS

Disinfection, HMI, displays, touchscreen technology, communication interfaces, ozone, main control unit, operating costs.

CHYTIL, L. *Řídicí systém s HMI displejem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 82 s., 11 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Boušek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou Diplomovou práci na téma Řídicí systém s HMI displejem jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. ing. Jaroslavu Bouškovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Mé poděkování také patří společnosti Lifetech s.r.o. za poskytnutí vybavení pro tvorbu této diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072
Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Úvod	6
1 DEZINFEKCE	7
1.1 Dezinfekce aktivním kyslíkem	8
2 TRENDY V OBLASTI HMI DISPLEJŮ	10
2.1 Automobilový průmysl	10
2.2 Potravinářský průmysl	12
3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY HMI DISPLEJŮ	13
3.1 Svítivost	13
3.2 Typ dotykové technologie	13
3.3 Typ použitého displeje	13
3.4 Rozlišení	13
3.5 Úhlopříčka displeje	14
3.6 Kontrast	14
4 DISPLEJ	18
4.1 LCD displej	18
4.1.1 TN+Film	20
4.1.2 IPS	21
4.1.3 MVA	22
4.2 LCD-LED displej	23
4.3 OLED	24
4.3.1 PMOLED	25
4.3.2 AMOLED	25
4.3.3 PHOLED	26
4.3.4 WOLED	26

5	DOTYKOVÉ TECHNOLOGIE	27
5.1	Odporová (rezistivní) dotyková vrstva	27
5.1.1	Čtyřvodičová technologie	28
5.1.2	Pětivodičová technologie	30
5.2	Kapacitní dotyková vrstva	30
6	KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	32
6.1	I ² C	32
6.2	SPI.....	33
6.3	UART.....	34
6.4	RS-232	35
6.5	RS-485	36
6.6	USB.....	36
6.7	Ethernet.....	37
7	KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY	38
7.1	Modbus protokol.....	38
8	PŘEHLED DOSTUPNÝCH HMI	41
8.1	Produkty společnosti WEINTEK.....	41
8.2	Produkty 4D SYSTEMS	42
8.3	Produkty společnosti MIKROELEKTRONIKA	42
8.4	Srovnání	43
9	VÝBĚR HMI	44
10	PŘEDSTAVENÍ PRŮMYSLOVÉHO ZAŘÍZENÍ	45
11	VOLBA ELEKTRONICKÉHO VENTILU	53

12 NÁVRH ŘÍDÍCÍ DPS	54
12.1 Napájení řídicí desky plošného spoje	55
12.2 Digitální vstupy	58
12.3 Analogové vstupy	59
12.4 Analogové výstupy	59
12.5 Další periferie	61
13 NÁVRH SOFTWARE PRO ŘÍDÍCÍ DPS	63
14 NÁVRH SOFTWARE PRO HMI DISPLEJ	66
15 KONTROLA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	69
16 ZÁVĚR	70
LITERATURA	71
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN, ZKRATEK	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK	77
SEZNAM PŘÍLOH	78

ÚVOD

V současné době je využití vody nedílnou součástí téměř každého výrobního procesu. Je proto nezbytné zaručit kvalitu vody za pomoci dezinfekčních metod. Většina průmyslových zařízení vyžaduje interakci uživatele s obsluhou. U velkého množství vyspělejších zařízení již nestačí interakce s uživatelem za pomoci základních ovládacích prvků jako mohou být tlačítka, vypínače/přepínače, potenciometry či klávesnice. Z těchto důvodů je vhodnost použití dotykových displejů čím dál větší. Takovéto systémy jsou pak mnohem přehlednější a intuitivnější. Díky dotykovým displejům je možné redukovat počet ovládacích prvků, což mnohdy vede ke zmenšení zařízení a úspoře času pro obsluhu.

V rámci práce je využito průmyslové zařízení, sloužící pro dezinfekci vody, které bude blíže specifikováno níže. Pozornost je věnována především návrhu řídicí jednotky, jenž je do tohoto zařízení zakomponována. Návrh řídicí jednotky tak musí být nezávislý na současném řešení.

Dále je také snahou poukázat na možnosti využití HMI displejů v průmyslu. V první části práce jsou uvedeny znalosti potřebné pro návrh zapojení dotykového displeje spolu s řídicím obvodem, který zajišťuje obsluhu. V navazující části je provedena analýza současného trhu s dotykovými displeji. V těchto kapitolách jsou také popsány základní principy dezinfekce.

Druhá část práce je věnována konkrétnímu řešení. Při realizaci je nejprve vybrán vhodný zástupce HMI displeje ze současné nabídky na trhu. Následuje návrh řídicí jednotky spolu s obslužným softwarem. Navržená řídicí jednotka spolu s displejem je následně zakomponována do rozvaděče průmyslového zařízení.

1 DEZINFEKCE

Vzhledem k tomu, že v práci je využito již hotového průmyslového zařízení, které slouží pro účely dezinfekce vody, budou zde uvedeny základní principy této technologie.

Dezinfekce je jedna ze základních metod zaručující zničení nežádoucích mikroorganismů, virů či bakterií. Proces dezinfekce se skládá z několika fází. V principu se nejčastěji setkáme s postupem dekontaminace, na níž navazuje samotná dezinfekce. V některých případech je pak proces dezinfekce rozšířen o fáze dvoustupňové (či více stupňové) dezinfekce a sterilizace. Zde se už bavíme nejen o dezinfekci samotné vody, ale také předmětů (potravinářských technologií, lékařského vybavení a další).

Před započítím procesu dezinfekce je většinou provedena mechanická očista. Při této fázi dochází k odstranění hrubých nečistot. Odstranění nečistot lze provést ručně případně za využití speciálních mycích přístrojů, tlakových pistolí či ultrazvukových čističek. Na tuto fázi pak navazuje již samotný proces dezinfekce. Zneškodnění mikroorganismů může být provedeno za pomoci fyzikálních, chemických nebo kombinovaných (fyzikálně-chemických) postupů.

Fyzikální dezinfekce spočívá nejčastěji v aplikování vysoké teploty po určitou dobu. Nejčastěji metody této dezinfekce mohou být:

- a) var za běžného tlaku po dobu 30 minut
- b) var v přetlakových nádobách po dobu 20 minut
- c) využití speciálních přístrojů (při teplotě 90 °C a 10 minut)
- d) aplikace ultrafialového záření o vlnové délce 254-264 nm
- e) Filtrace, žihání, spalování a další.

Výhodou zmíněných metod je především v tom, že není třeba aplikovat chemické přípravky. Na druhou stranu nevýhoda je v nutnosti dosažení vysokých teplot, což může být mnohdy časově náročné a u některých případů nemožné (zničení čištěného předmětu).

Chemická dezinfekce využívá dezinfekčních přípravků. Nezbytností je však dodržení potřebné doby expozice a koncentrace přípravku. Dezinfekční přípravky je nutné vyměňovat po uplynutí doby životnosti (většinou 2-3 měsíce). Přesné údaje jsou uváděny výrobcem těchto látek. Pro dezinfekci může být využito prostředků na bázi alkoholů, chlóru, jódu či aktivního kyslíku. Způsoby aplikace dezinfekčních přípravků mohou být omývání, ponor, postřik či pomocí pěny. Struktura přípravků pak může být ve formě prášku, aerosolu nebo tinktury. Nevýhodou může být nutnost precizního dodržování přesných koncentrací a doby expozice (závislé na lidském faktoru). Navíc se jedná o metodu méně ekologickou. Nespornou výhodou je však menší časová náročnost procesu dezinfekce.

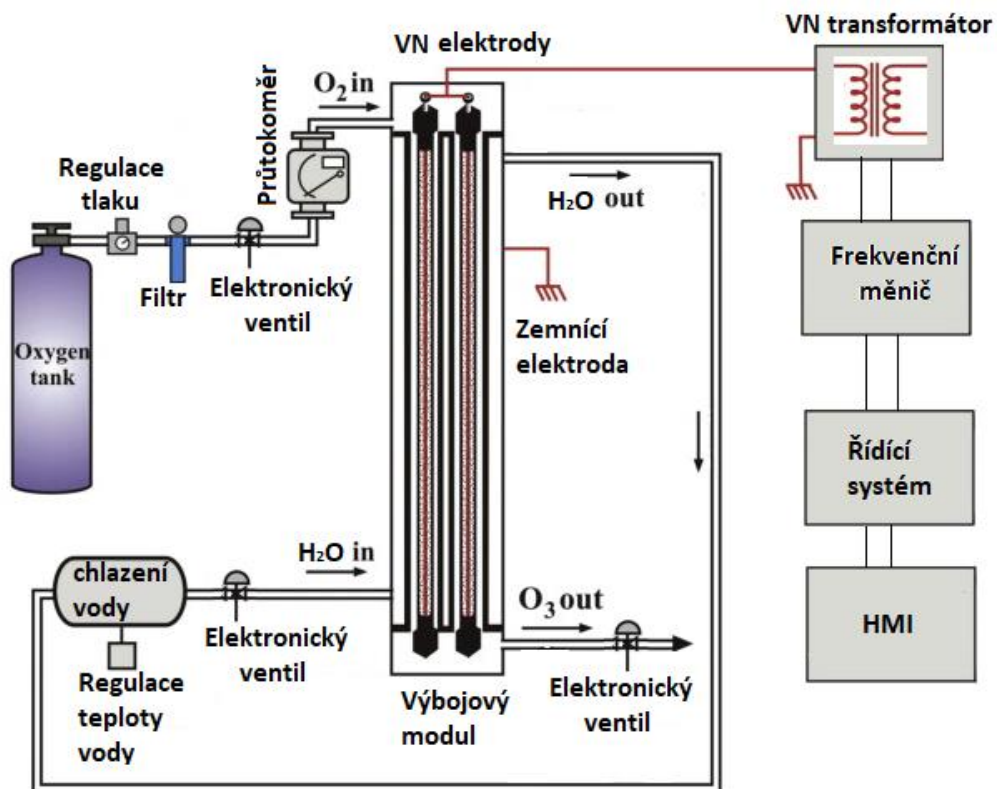
Kombinovaná metoda pak využívá jak chemických přípravků, tak teploty. Příkladem lze uvést automatickou pračku, či myčku. Další metody dezinfekce pro tuto práci nejsou podstatné, a proto zde nebudou detailněji rozebrány. [1]

1.1 Dezinfekce aktivním kyslíkem

Princip dezinfekce aktivním kyslíkem je založen na působení atomárního kyslíku na organické molekuly, ze kterých se veškeré mikrobiologické znečištění skládá. K vytvoření formy běžně se nevyskytujícího atomárního kyslíku se používá principu rozkladu molekul ozonu (O_3), který lze snadno vyrobit působením elektrického napětí na molekuly běžného O_2 .

Většina takovýchto zařízení se skládá z několika základních bloků. Kyslík je přiváděn skrze průtokoměr do výbojového modulu (jinak také nazývaného jiskřiště). Zároveň je do jiskřiště přivedena voda, která je chlazená na požadovanou teplotu (průtok vody zaručuje stálou teplotu jiskřiště). Do výbojového modulu jsou pak nasunuty výbojové trubice, které musí být omezeny aretační páskou (v žádném případě nesmí dojít ke zkratování výbojové trubice s tělem výbojového modulu). Pro zamezení zkratu s jiskřištěm jsou výbojové trubice ošetřeny smaltem (při jakékoliv manipulaci je nutné zamezit poškození smaltu). Po přivedení kyslíku se v horní části jiskřiště vytvoří vzduchová kapsa. Díky vytvořenému tlaku (asi 1 bar), je z této vzduchové kapsy kyslík hnán do spodní části jiskřiště. V případě, že přiložíme vysoké napětí (dále jen VN) na výbojové trubice, dojde ke vzniku korónového jiskření mezi každou trubicí a tělem výbojového modulu. Přiložené VN napětí a protékající kyslík pak vytvoří aktivní kyslík, který samovolně padá do spodní části jiskřiště. Napětí je řízeno za pomoci frekvenčního měniče, který nastavuje výkon. Celá sestava je pak řízena řídicím systémem (například pomocí PLC). Interakce s uživatelem v podobě nastavování parametrů produkce aktivního kyslíku může být řešena mimo jiné skrze HMI rozhraní. Pro lepší představu jsou níže umístěny příklady popsaného systému.

Při výrobě aktivního kyslíku je důležité dodržet několik zásadních kritérií, kterými jsou především teplota vody a kvalita dodávaného kyslíku. Ten může být dopravován do potrubí z tlakové láhve (kyslík by měl být dokonale suchý), nebo za pomoci kyslíkového generátoru (příklad takového generátoru bude uveden v kapitolách níže). V případě využití vlhkého kyslíku by mohlo dojít ke zkratu jiskřiště. Aktivní kyslík je teplotně velmi nestabilní plyn, a proto je nutné dbát na konstantní teplotu jiskřiště, která se pohybuje okolo 8 – 15 °C. Při vyšších teplotách již dochází ke snížení koncentrace produkovaného aktivního kyslíku (teplotou je doba života mnohonásobně snížena). Navazující kapitoly jsou věnovány trendům HMI displejů spolu s základním přehledem.



Obrázek 1: Ilustrace zapojení systému pro výrobu aktivního kyslíku [2].



Obrázek 2: Ukázka výbojového jiskřiště [3].

2 TRENDY V OBLASTI HMI DISPLEJŮ

Pokrok v oblasti HMI displejů otevřel nové možnosti aplikace průmyslové automatizace. Současným trendem je využití vyspělé technologie HMI displejů především v oblasti ovládacího rozhraní, dotykových ploch či samotných displejů. Současné HMI displeje nabízí širokou škálu komunikačních sběrnic, díky kterým je možné přistoupit k potřebným datům v reálném čase s cílem zlepšit monitorování, řízení a produktivitu linek. Díky těmto možnostem lze vést analýzu dat ve výrobě (např. pomocí Wi-Fi technologie). Sníží se tím zmetkovitost výroby (interakce HMI s obsluhou) a zvýší produktivita (velmi rychlá obsluha díky vícedotykové technologii). HMI systémy proto zjednodušují operační postupy ve výrobních závodech a odstraňují extrémní nároky na údržbu jednotlivých komponent systému. Tyto výhody napomáhají k efektivnímu provozování výrobních linek a zároveň umožňují společností reagovat a provádět rychlé změny ve výrobě v závislosti na kolísání poptávky trhu [4].

Vývoj HMI displejů zaznamenává v současné době čím dál větší rozmach. Jejich využití se bude rozšiřovat především do aplikací například v potravinářském, robotickém, leteckém či automobilovém průmyslu. Níže jsou pak popsány příklady současných trendů při využití HMI displejů

2.1 Automobilový průmysl

Jako první z příkladů lze uvést automobilku BMW, která přišla s technologií „BMW HoloActive Touch“ [5]. Jedná se o myšlenku ovládání automobilu za pomoci gest. Ovládací systém HoloActive Touch funguje na principu virtuálního dotykového displeje, který je ovládán za pomoci gest. Systém je také využit pro potřeby potvrzení příkazů, pomocí kterých získává zpětnou vazbu inteligentní systém automobilu. Řidič tyto příkazy vnímá jako hmatovou zpětnou vazbu.

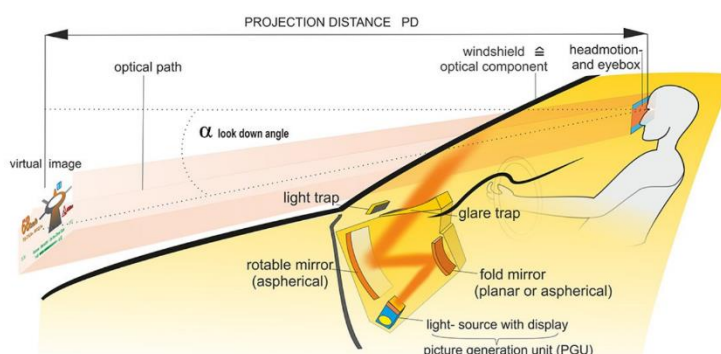
Technologie HoloActive Touch je kombinována s tzv. head-up displeji (viz Obrázek 4). Tyto displeje jsou založeny na principu projekce obrazu na čelní sklo. Jsou transparentní a řidič při pohledu na ně nemusí odvracet pozornost od směru, kterým je nutné se dívat při dané situaci. Jejich princip je odvozen z leteckých systémů. Jedná se tedy o displeje, které zobrazují za pomoci promítací jednotky a průhledné fólie sloužící jako zobrazovací plocha. V automobilovém průmyslu je promítací jednotka umístěna na přední palubní desce a transparentní fólie pro displej je nalepena přímo na čelní sklo. Výhodou technologie je dobrá viditelnost v jakémkoliv osvětlení, nezávisí tedy například na fázích dne (častý problém jiných technologií například při osvětlení nízkou položeným Sluncem). Viditelnost se nesníží ani v případě mlhy, šera či jiných méně příznivějších podmínek. Tuto technologii začíná využívat například společnost Garmin ve svých

navigačních systémech. Uživatel tak může mít na čelním skle promítaná data z navigací, informace o provozu, počasí a dalších potřebných informací pro řízení automobilu.

Automobilka BMW označuje interiér výstižným termínem „Inside Future“, což lze volně přeložit jako interiér budoucnosti. BMW řady 7 již disponují zmíněnými technologiemi a jejich další rozšíření se očekává u nové řady 5. Příklad lze vidět na obrázku 3 a 4.



Obrázek 3: Ilustrace technologie HoloActive touch vyvinutou společností BMW [5].



Obrázek 4: Ilustrace technologie Head-up displejů využitých v technologii HoloActive Touch společností BMW [6].

2.2 Potravinářský průmysl

Jako další z příkladů lze uvést mezinárodní společnost Del Monte sídlící ve městě Cambria (USA), která se rozhodla přistoupit k zavedení HMI displejů na všechny výrobní linky. Takovýto krok výrazně zefektivnil produktivitu jednotlivých strojů. Veškeré informace z výroby jsou současně posílány na server, na který se mohou pracovníci této společnosti připojit a data analyzovat (přístup jednotlivých zaměstnanců je řízen za pomoci práv). Výhoda takovéto inovace je především v tom, že každý pracovník má aktuální data o provozu, poruše či jiném stavu výroby, díky čemuž mohou například servisní technici plánovat odstávky výrobních linek. K jakémukoliv přehledu o výrobě (počet zmetků, počet poruch a další) je možné přistoupit skrze tablet, telefon či jiná zařízení. Důležité je však dávat pozor na zabezpečení dat proti úniku.

Zavedení HMI displejů neslo plno dalších výhod. Díky možnosti přístupu k jednotlivým datům je možné velmi rychle zaškolení pracovníků. Na jednotlivých pracovištích jsou k dispozici instruktážní videa, které napomáhají k rychlému přístupu k informacím, které jsou pro danou pozici vyžadovány. Multidotyková technologie výrazně napomáhá v obsluze (možnost ovládání za pomoci gest, či pouhé jedné ruky). Díky těmto výhodám pak není zapotřebí složitého menu s mnoha záložkami. Všechny displeje mohou obsahovat volbu výběru několika jazykových mutací, což výrazně rozšiřuje možnosti zaměstnání zahraničních pracovníků [3].

3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY HMI DISPLEJŮ

V následující kapitole budou popsány základní parametry, na které je vhodné přihlížet při výběru HMI displeje. Mezi tyto parametry patří především svítivost, typ dotykové technologie, typ zobrazovací matice, rozlišení, velikost plochy pro zobrazování a další [7].

3.1 Svítivost

Jedná o maximální možnou svítivost několika bodů na danou plochu. Nejčastěji se tento parametr udává v $\frac{cd}{m^2}$. Svítivost úzce souvisí s parametrem kontrast. V závislosti na jeho nastavení (ale také na nastavení gama korekce či jasu, tak zvané dynamické parametry) se může výrazně měnit. Při měření je proto nutné zaručit nastavení dynamických parametrů na 0 %.

3.2 Typ dotykové technologie

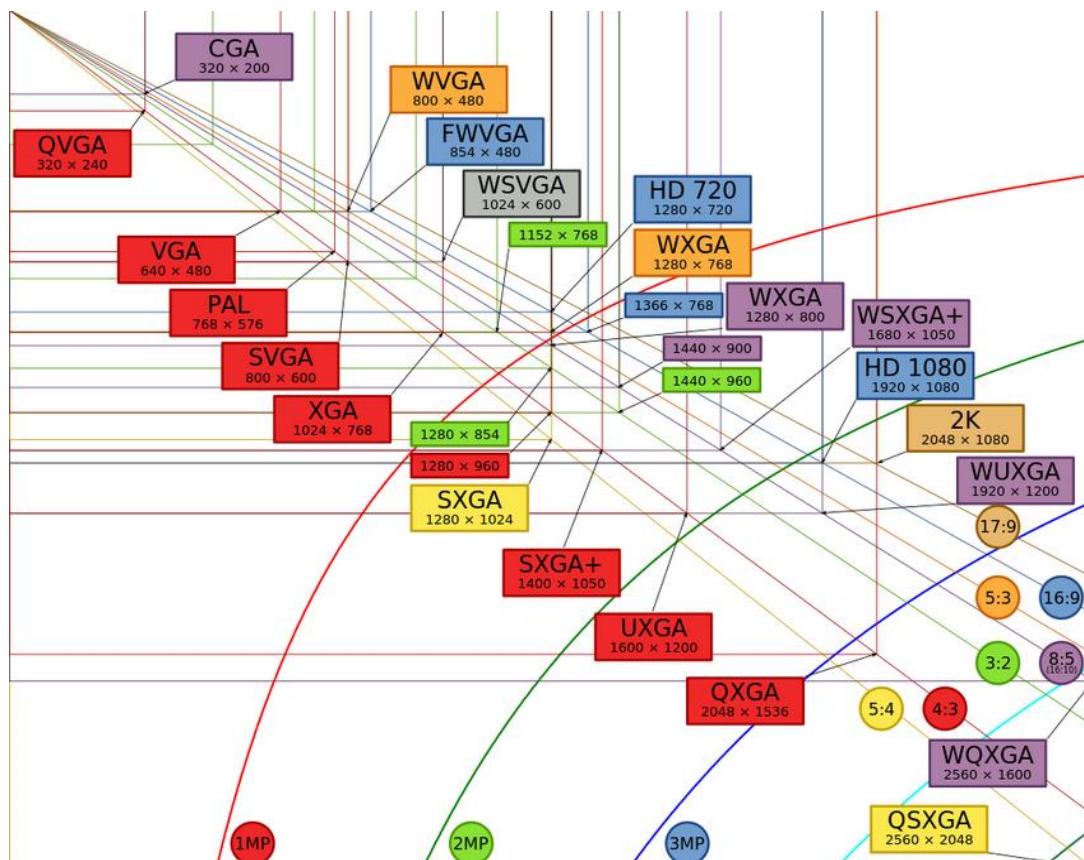
V dnešní době existuje několik dotykových technologií. Provedení, výhody či nevýhody dotykových technologií budou uvedeny v kapitole níže. Nejznámější dotykové technologie jsou kapacitní či odporové. Lze se však setkat i s infračervenými či ultrazvukovými.

3.3 Typ použitého displeje

Možnosti provedení displejů jsou taktéž velmi rozsáhlé a opět budou tyto technologie popsány níže. Nejčastěji využívané displeje jsou LCD, LED. Lze se však setkat i s OLED či E-ink displeji.

3.4 Rozlišení

Tento parametr vyjadřuje maximální počet pixelů, které mohou být zobrazeny na dané obrazovce. Nejčastěji je udáván ve formátu počet bodů v ose x a následuje počet bodů v ose y oddělené znakem x. Příklad rozlišení může být 640x480. Maximální počet pixelů je 64 000 (součin počtu bodů v ose x a y). Na obrázku 5 je možné vypočítat přehled současných rozlišení [8].



Obrázek 5: Přehled rozlišení současných displejů [8].

3.5 Úhlopříčka displeje

Úhlopříčky obrazovky jsou ve většině případů udávány v palcích. Jedná se o rozměr měřený od jednoho rohu displeje k protějšnému. Nejčastější dostupné velikosti HMI displejů jsou 2,4 ", 2,8 ", 3,2 ", 3,5 ", 4,3 ", 5 ", 7 " a někdy i 15 palců.

3.6 Kontrast

V literatuře se lze setkat s anglickým označením *Contrast ratio*. Pro popis tohoto parametru tedy bude užíváno zkratky CR.

Kontrast je jedním z nejdůležitějších parametrů pro určení kvality displeje. Zjednodušeně by se dalo říct, že tento parametr udává poměr mezi vyzařovanou bílou a černou barvou. Typickou hodnotou může být například 1 000 : 1, což znamená, že zobrazovaný bílý bod je 1 000krát světlejší než bod černý. Čím vyšší je tato hodnota, tím věrohodněji vypadá zobrazovaný obraz (lze vidět na příkladu níže). V současné době nejsou stanoveny standardní postupy pro měření tohoto parametru, a proto mohou být uváděné hodnoty CR mnohdy nedůvěryhodné.

Pro měření tohoto parametru existují 2 možné metody, z kterých je nejlépe patrný jeho účel. Je nutné zvažovat různá nastavení pro bílou a pro černou barvu. Faktorem ovlivňujícím zobrazovanou bílou je samotná „barva“ bílé (barevný tón) a také barva okolního osvětlení. Pro černou barvu se opět jedná o barvu černé plochy, okolní světlo a nežádoucí světlo (difrakce a další chyby světla). Při jakékoliv metodě výpočtu CR je uvažováno následujícího vzorce [9]

$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}}. \end{aligned} \quad [1]$$

První metoda měření využívá dokonale temné místnosti a zdroj podsvícení displeje nevyzařuje žádné nežádoucí světlo. V tomto případě je zobrazován pouze bílý obraz na celou plochu displeje. Rovnice pro CR bude vypadat následovně

$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}} \\ &= \frac{1\,000 + 0}{0 + 0 + 0} \approx \infty. \end{aligned}$$

V případě, že není zvažováno dokonalého zdroje podsvícení displeje, výsledné CR lze získat z rovnice

$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}} \\ &= \frac{1\,000 + 0}{0 + 0 + 0,001} = 1\,000\,000. \end{aligned}$$

V tomto případě je výsledné CR = 1 000 000 : 1. Takovýto údaj je mnohdy udáván výrobcí obrazovek displejů. V reálných podmínkách však takového CR není možné dosáhnout. Dále je proto tato problematika rozvíjena tak, aby se výpočet přibližoval reálným podmínkám.

Dokonale temnou komoru je možné vytvořit pouze v laboratorních podmínkách. V případě úvahy reálných parametrů okolního osvětlení získáme výsledné CR následovně

$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}} \\ &= \frac{1\,000 + 50}{0 + 50 + 0,001} \approx 21. \end{aligned}$$

Výsledná hodnota CR je rovna 21 : 1. Takového výsledku je již běžně možné dosáhnout. Ve všech předchozích případech byl obraz zobrazován na celou obrazovku a jednalo se pouze o bílou barvu. Při uvážení zobrazování testovacího obrazce je výpočet následující

$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}} \\ &= \frac{1\,000 + 0}{0,5 + 0 + 2} = 400. \end{aligned}$$

Takto dosažená hodnota CR je zatím nejvěrohodnější (uvažuje zobrazení reálného obrazce). Přidá-li se do výpočtu vliv okolního osvětlení rovnice pro CR bude vypadat takto

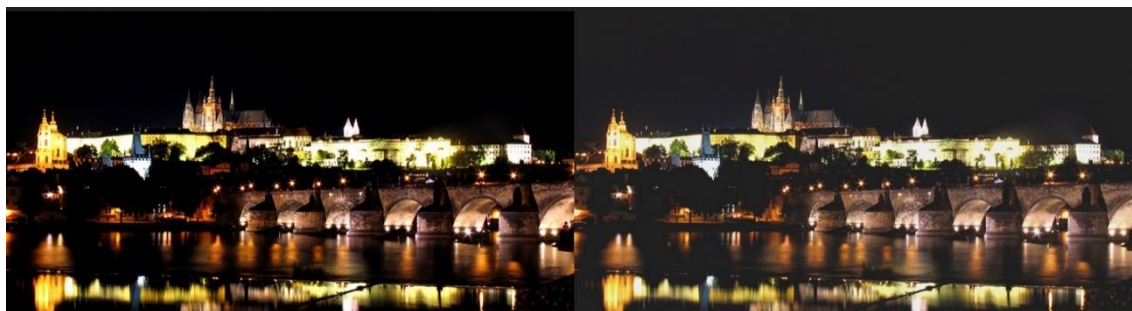
$$\begin{aligned} \text{Contrast Ratio} &= \frac{\text{bílá}}{\text{černá}} = \\ &= \frac{\text{zobrazované bílé světlo} + \text{okolní osvětlení}}{\text{zobrazované černé světlo} + \text{okolní osvětlení} + \text{nežádoucí světlo}} \\ &= \frac{1\,000 + 50}{0,5 + 50 + 2} = 20. \end{aligned}$$

Z předchozího je patrné, že měření tohoto parametru je dost problematické. Ve většině případů výrobci nemají k dispozici dokonale temnou komoru a ani neuvádí, zda CR bylo měřeno v temné komoře či při běžném osvětlení. Další z problémů je konkrétní motiv, který je zobrazován. Nejvěrohodnější výsledek je možné získat s testovacím obrazcem v podobě šachovnice 8x8 s bílou a černou složkou.

Novodobější obrazovky umožňují úpravu jasu, kontrastu a dalších parametrů dle aktuální zobrazované scény. Při měření takovéto obrazovky je pak většinou těchto funkcí zneužíváno a hodnota uvedeného parametru CR je velmi vysoká. Takovéto testy se pak nazývají dynamické (oproti statickým testům, kterým odpovídají rovnice výše). V tabulce 1 lze vidět běžné hodnoty CR a jejich vlivu na čitelnost. Na obrázku 6 je zobrazeno porovnání obrazovky s vyšším CR a nižším CR [10].

Tabulka 1: Tabulka míry ovlivnění CR na čitelnost displeje při osvětlení sluncem [11].

CR	Čitelnost obrazu na slunci
1-2:1	Nečitelné
3-4:1	Téměř nečitelné
5-9:1	Dobře (příjemně) čitelné
10:1	Velmi dobře čitelné
15:1	Výborně čitelné
20:1	Perfektně čitelné



Obrázek 6: Ilustrace displeje s vysokým CR (vlevo) a nízkým CR (vpravo) [10].

4 DISPLEJ

Displej lze chápat jako zařízení, které má za úkol zobrazovat požadované informace tak, aby byly srozumitelné uživateli. Nejčastější podoba zobrazované informace je ve formě světelné. Lze se však setkat i s hmatovými displeji (slouží především pro nevidomé).

V zásadě lze displeje rozdělit na aktivní a pasivní. V případě pasivního displeje je obraz realizován za pomoci průchodu světla, přičemž jeho zdroj podsvícení je externí. Aktivní displeje si sami vytváří optické záření (zaručena čitelnost i při nízkém okolním osvětlení).

Problematika displejů je velmi rozsáhlá, a proto jsou popsány pouze současné trendy používaných displejů. V případě potřeby jsou veškeré informace o displejích uvedeny například v literatuře [12].

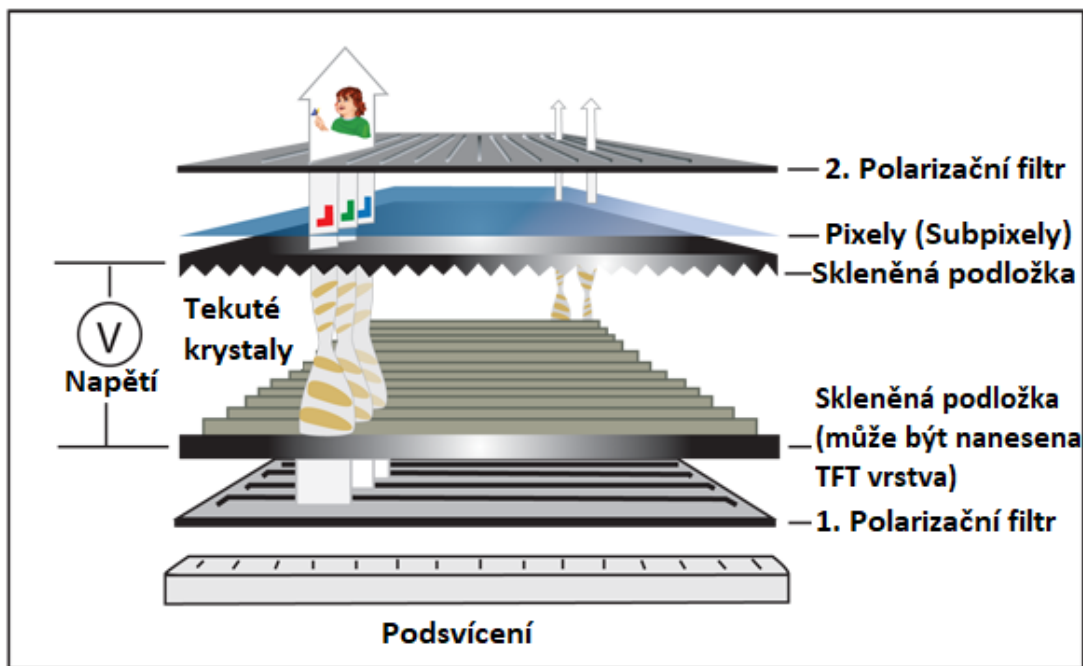
4.1 LCD displej

Technologie LCD je obecně založena na natáčení tekutých krystalů za pomoci elektrického pole. Světlo pak prochází, nebo neprochází polem těchto krystalů (v závislosti na jejich natočení) až na luminofor skládající se z jednotlivých pixelů, respektive 3 subpixelů a to R (červené), G (zelené), B (modré) barvy. Barva je většinou tvořena ještě před 2. polarizačním filtrem (po průchodu 2. polarizačním filtrem dojde k mísení prošlého světla, jehož barva a intenzita je upravena již dříve).

Každý LCD se skládá ze 2 pro světlo průchozích skleněných podložek. Na tyto skleněné podložky jsou umístěny průhledné elektrody. Je-li přivedeno na tyto elektrody elektrické napětí, dojde ke shodnému stočení tekutých krystalů umístěných mezi nimi. Na vnější straně destiček je umístěna dvojice polarizačních filtrů.

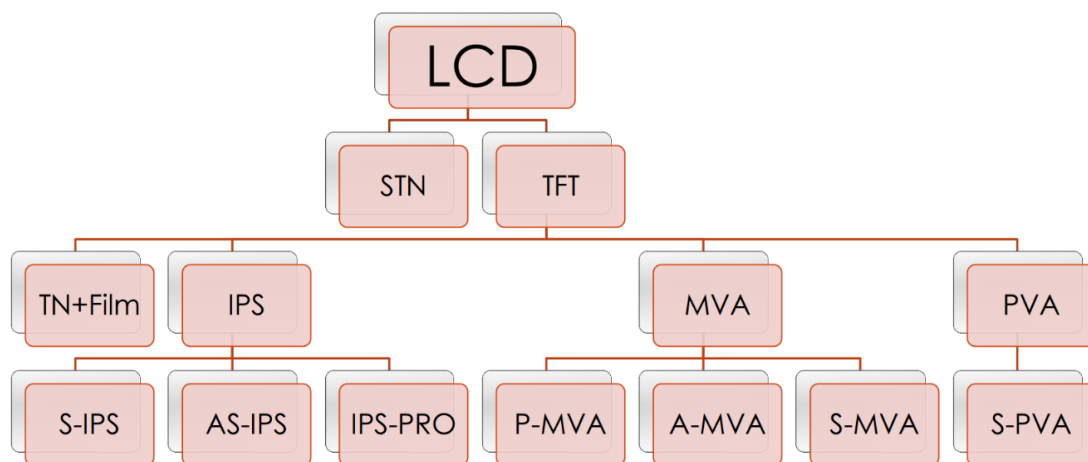
Zdroj světla nebývá přímý a je velmi rozptýlený. Proto je zde umístěn první polarizační filtr, který zaručí průchod světla v dané polarizační rovině (zbylá orientace světla je pohlcena). Průchozí část světla je nyní orientována ve správném směru a o průchodu světla druhým polarizačním filtrem, který je otočen o 90 °, rozhodne natočení tekutých krystalů. Při průchodu světla tekutými krystaly dochází totiž ke stáčení polarizační roviny právě podle natočení krystalů. V opačném případě je díky pootočení 2. polarizačního filtru světlo pohlceno. Příklad a strukturu LCD lze vidět na obrázku 7.

Mírou natočení tekutých krystalů je pak ovládáno množství průchozího světla (jas obrazovky). Smícháním základních barev a jasu jednotlivých luminoforů pak získáme příslušnou barvu s daným odstínem [12].



Obrázek 7: Ilustrace principu funkce LCD [13].

Na obrázku 8 je vidět základní rozdělení technologií LCD. Dále jsou rozebrány nejvýznamnější z nich.



Obrázek 8: Rozdělení LCD displejů [11].

Před tím, než budou vysvětleny jednotlivé modifikace displejů je však nutné porozumět termínům STN a TFT.

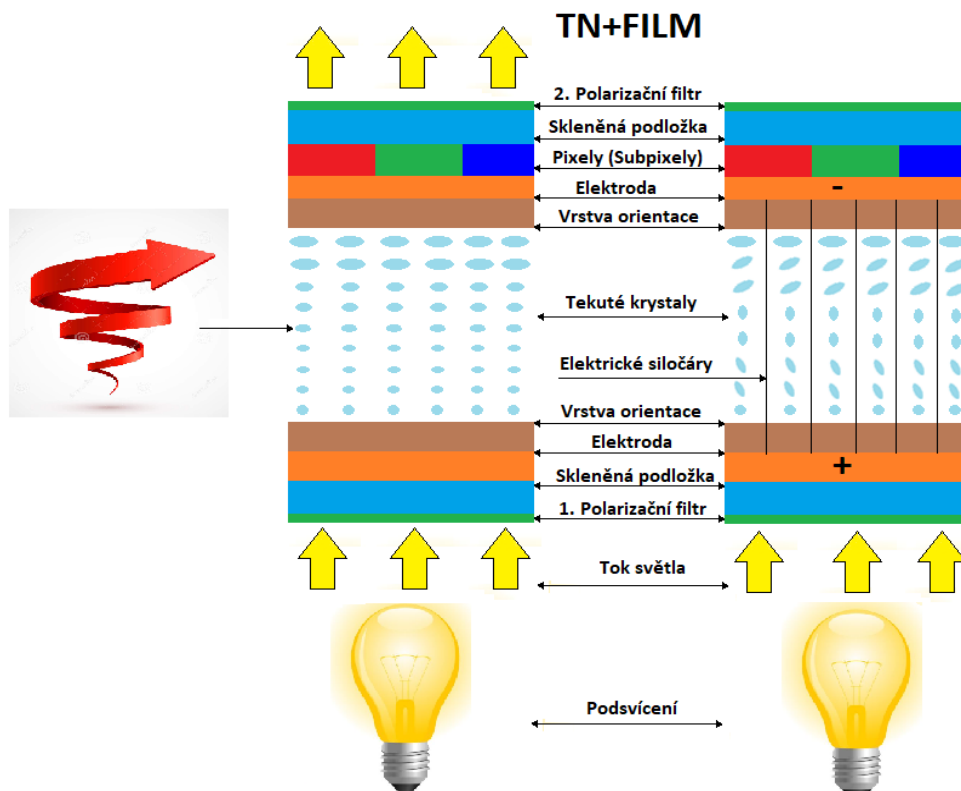
V případě STN se jedná o pasivní displeje (tady není na mysli zdroj osvětlení, avšak řízení jednotlivých pixelů). Základem takových displejů jsou 2 skupiny elektrod, přičemž jedna řídí sloupec a druhá řádek. V dnešní době se lze setkat s několika typy pasivních LCD (HTN, STN, DSTN, TSTN, FSTN a další). Rozdíly mezi těmito displeji jsou však pouze v různém tvaru a natočení krystalů. Jejich konstrukce je jednodušší a tím pádem jsou výrazně levnější než aktivní displeje.

Aktivní displeje, označované jako TFT, vychází z myšlenky displejů pasivních. Rozdílem je, že každý pixel je navíc vybaven tranzistorem. Spínáním těchto tranzistorů je řízeno napětí pro jednotlivý bod tekutých krystalů (jas, barva). Technologie má nespornou výhodu ve vyšší zobrazovací schopnosti a lepší době odezvy. Oba případy displejů je však nutné řídit za pomoci řídicí jednotky (většinou mikrokontroler) [12].

4.1.1 TN+Film

LCD typu TN (Twisted nematic) jsou tvořeny za pomoci speciálního typu krystalů, jejichž molekuly tvoří spirálovitý tvar, což zajišťuje vrstva orientace. Tok světla je tak průchozí (zaručuje 2. polarizační filtr otočen o 90°), což způsobí svit daného pixelu (světlo je průchodem spirálovité struktury krystalů natočeno o 90°). Při přiložení napětí se spirálovitá struktura krystalů naruší, dojde k natočení krystalů a dopadající světlo není stočeno. V důsledku toho pak daný pixel nesvítí. Technologií TFT je řízena velikost natočení daného krystalu. Princip tohoto displeje ilustruje obrázek 9.

Displeje typu TN mají vysokou reakční dobu a špatný pozorovací úhel, a proto bylo třeba vymyslet modifikaci pro odstranění těchto nedostatků. Tyto nedostatky jsou vyřešeny nanesením filmu, který výrazně zlepšuje kvalitu barev, dobu odezvy, pozorovací úhel a podání obrazu. Displeje typu TN+Film se do dnešní doby využívají především z důvodu nízké pořizovací ceny a, díky úpravě filmem, nízké doby odezvy [12].



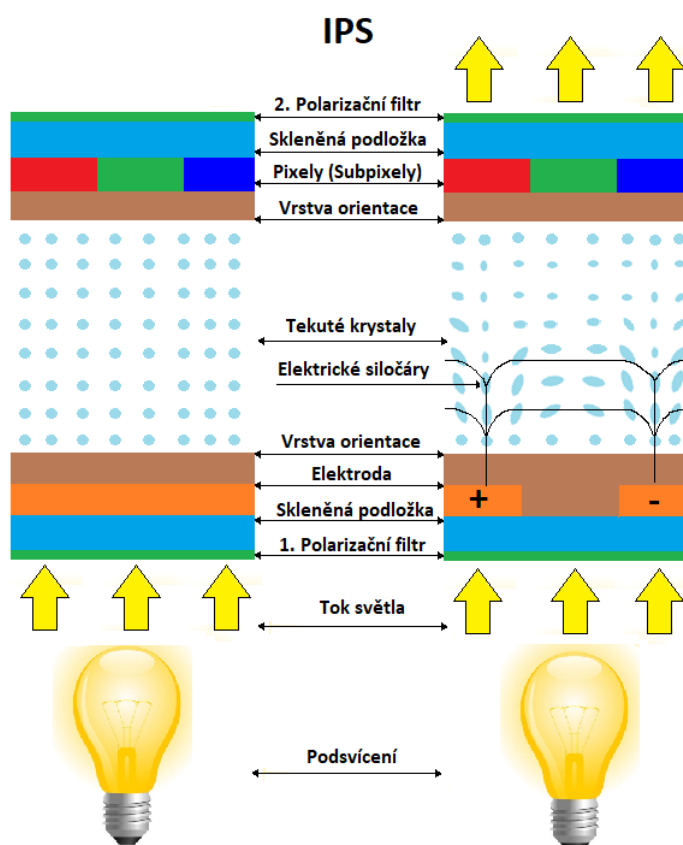
Obrázek 9: Princip TN+ Film displejů.

4.1.2 IPS

Výraznou výhodou těchto displejů je především to, že v případě poškození daného pixelu nedochází k jeho zjasnění. U předchozí technologie poškozený pixel svítil, což způsobuje nepříjemný rušivý osvit daného bodu a zbytečně přitahuje pozornost.

Technologie IPS má na rozdíl od displeje TN dvě průhledné elektrody umístěné pouze na jedné ze stran skleněné podložky. V tomto případě se ve výchozím stavu nachází krystaly ve stejné rovině jako je orientace vrchního spodního filtru (světlo není propuštěno). V případě přiložení napětí dojde k natočení krystalů o 90° , což způsobí průchod světla. Výhodami těchto displejů jsou především velmi dobrý pozorovací úhel a sytější barvy. Mínusem je vyšší cena a vyšší spotřeba. Tyto displeje mají také horší dobu odezvy (pro běžné potřeby však není kritické).

IPS displeje se později vyvinuly do 3 modifikací a to S-IPS, A-IPS, IPS-PRO, H-IPS. Jednotlivé technologie se liší tvarem využitých krystalů (například u H-IPS mají tvar obdélníku) a jinými mezerami mezi tekutými krystaly. Všechny uvedené modifikace přinesly vyšší kvalitu zobrazování [14].

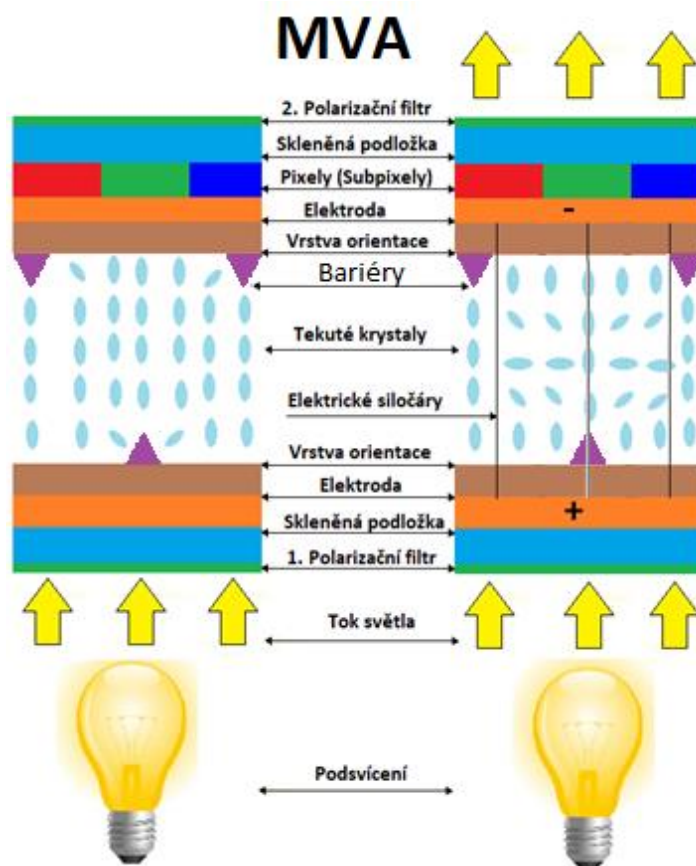


Obrázek 10: Princip IPS displejů.

4.1.3 MVA

Opět došlo k změně orientace krystalů a rozložení elektrod. Zároveň se z obdélníkového tvaru krystalu přešlo zpět k „oválnému“ tvaru. Displej vyniká velmi dobrými pozorovacími úhly díky rozmístění krystalů do domén (Mono či Multi). I tyto typy displejů prošly vývojem a vzniklo několik modifikací (P-MVA, S-MVA, A-MVA). Později pak byl vynalezen displej nazvaný PVA, který svou podstatou vychází z MVA displeje a díky tomu, že patří mezi jedny z nejrychlejších jsou využívány dodnes (orientace krystalů je horizontální a rozdělená na 2 domény) [14].

Porovnání pozorovacích úhlů jednotlivých technologií je na obrázku 12.



Obrázek 11: Princip MVA displejů.



Obrázek 12: Porovnání pozorovacích úhlů TN, IPS a PVA displeje [15].

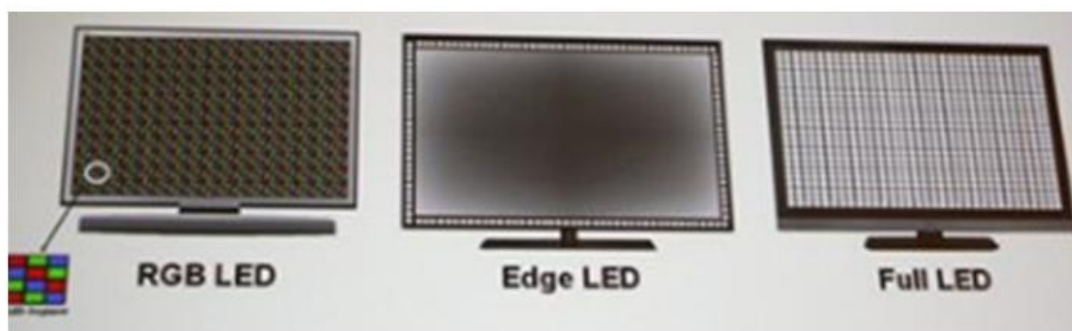
4.2 LCD-LED displej

Původně se jako zdroj světla pro podsvícení využívaly CCFL zářivky. Nevýhoda takového provedení je ve vyšší spotřebě a podstatně větších rozměrech způsobených konstrukcí. Pro odstranění této nevýhody se využilo svítivých diod.

LCD-LED displeje se tedy svou podstatou nemění. Jedná se pouze o záměnu podsvícení za LED. Takovýto krok tak přinesl podstatné zmenšení rozměrů displejů (až 10 mm), nižší problémy s ekologií (CCFL trubice obsahují páry rtuti), výrazně nižší spotřebu či lepší kvalitu osvětlení rohů obrazovky [12].

Podsvícení LCD-LED obrazovek lze realizovat 3 způsoby, a to za pomoci:

- a) **RGB LED** – V tomto případě se jedná o využití RGB LED diod, čímž lze vynechat subpixely. Pixely jsou realizované za pomoci bezbarvé průsvitné látky. RGB led jsou rozmístěny po celé ploše obrazovky.
- b) **Full LED** – Podsvícení full LED je realizováno za pomoci bílých diod. Jednotlivé pixely tak musí být tvořeny subpixely. Rozmístění jednotlivých diod je opět po celé obrazovce.
- c) **Edge – LED** – Postupem času bylo třeba zlevnit výrobní náklady, a tak se přišlo s myšlenkou osazení bílých LED pouze po obvodu obrazovky (osazené do rámu obrazovky) a rozvodu světla pomocí vrstvy průhledného plastu (například PMMA). Výhoda takového provedení je v minimalizaci množství potřebných diod. Velká nevýhoda této technologie je však v potřebě umístění rozptylovacího panelu (světlo vyzařené z LED by bylo bodové), což snižuje účinnost LED technologie (pokles jasu až o 20 %). Tento problém byl ošetřen za pomoci řídicí elektroniky, která zajišťuje ovládání jasu dle potřeby.



Obrázek 13: Porovnání jednotlivých provedení LCD-LED displejů [15].

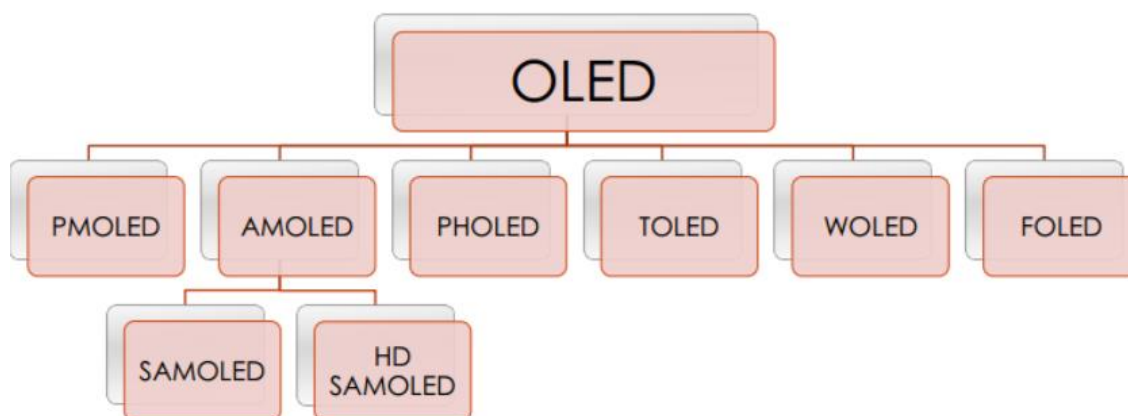
4.3 OLED

Základním stavebním prvkem těchto displejů je polovodičová struktura na organické bázi. Struktura takového displeje se velmi podobá LED, což zaručuje vyzařování světla za pomoci rekombinace elektronů a děr.

Struktura OLED je tvořena několika vrstvami tenkého organického materiálu, které jsou vloženy mezi průhlednou anodu a kovovou katodu. V případě přivedení napětí do dané buňky dochází k rekombinaci elektronů a děr v organickém polovodiči, což způsobí vyzařování požadovaného světla. Tyto displeje lze řadit do kategorie aktivních displejů.

OLED displeje zaznamenaly velmi velký pokrok při vývoji (především ve vyšší kvalitě podání obrazu, vyššího jasu, menších rozměrů a spotřeby). Ani tato technologie však není bezchybná. Současná životnost displejů je nižší než u LCD, a proto jsou vhodné spíše do spotřební elektroniky. Na současném trhu se však lze již běžně setkat s těmito displeji pro průmyslové využití.

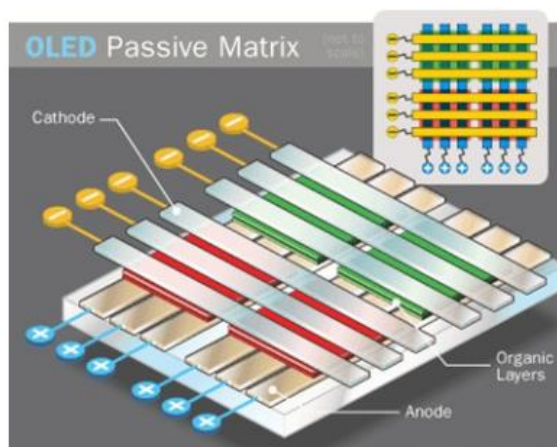
Základní rozdělení OLED displejů lze opět vidět na obrázku 14. Dále jsou popsány jednotlivé modifikace těchto OLED displejů [14], [15].



Obrázek 14: Rozdělení OLED displejů [14].

4.3.1 PMOLED

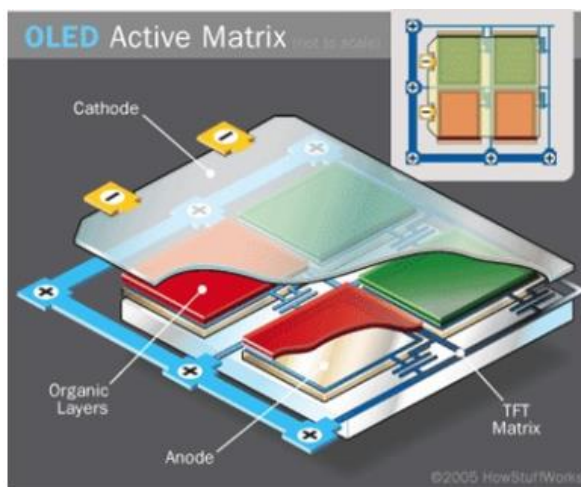
Stejně jako u LCD displejů i zde došlo k rozdělení OLED na pasivní a aktivní. PMOLED jsou zástupcem pasivního displeje (tedy neobsahuje matici TFT tranzistorů). OLED displej je tvořen elektrodami pro řádky a sloupce. Na každém průsečíku řádky a sloupce je umístěn pixel (organický materiál), který po přivedení napětí na daný řádek a sloupec vyzáří příslušné světlo. Tyto displeje je poměrně obtížné řídit. Příklad PMOLED displeje lze vidět na obrázku 15.



Obrázek 15: Struktura PMOLED displejů [15].

4.3.2 AMOLED

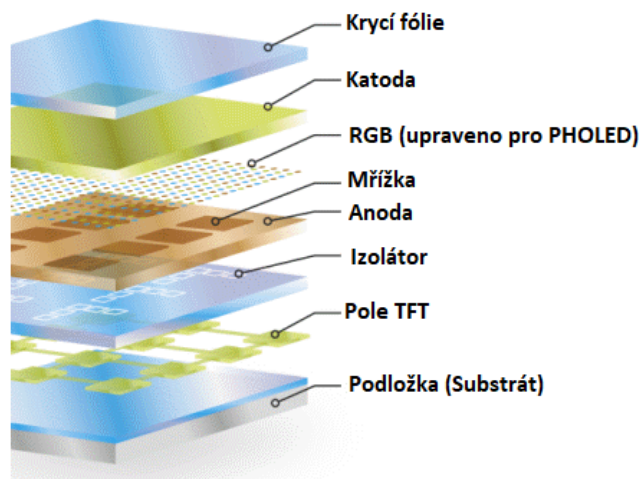
Tyto displeje obsahují matici TFT tranzistorů, a proto je lze řadit mezi aktivně řízené displeje. Rozdílem oproti předchozím je matice tranzistorů, kterými jsou ovládány jednotlivé pixely. Umístěním těchto tranzistorů je zaručeno podstatně lepší doby odezvy a nižší spotřeby. Řídicí jednotka může být v tomto případě realizována na substrátu. Při vývoji se dospělo k několika variantám, jejichž rozdíly jsou pouze v rozložení organického materiálu.



Obrázek 16: Struktura AMOLED displejů [15].

4.3.3 PHOLED

Tato technologie vychází z předchozího OLED displeje. Rozdíl je jen v organickém materiálu (princip elektrické fosforence). Výhodou takovéto změny je především v podstatně vyšší účinnosti. Vyzářené světlo je téměř ze 100 % zužitkováno ve prospěch zobrazování (v předchozích případech dochází vždy až k 75% tepelným ztrátám).



Obrázek 17: Struktura PHOLED displejů [19].

4.3.4 WOLED

Zde se dospělo k názoru, že vhodnější bude využít bílého světla, které je následně převedeno za pomoci organického materiálu na jednu ze základních barev. U této technologie je navíc přidána mezi základní barvy i bílá (tato modifikace opět vychází z předchozích modifikací LCD displejů). Lze tak snadno měnit barevné podání světla.

5 DOTYKOVÉ TECHNOLOGIE

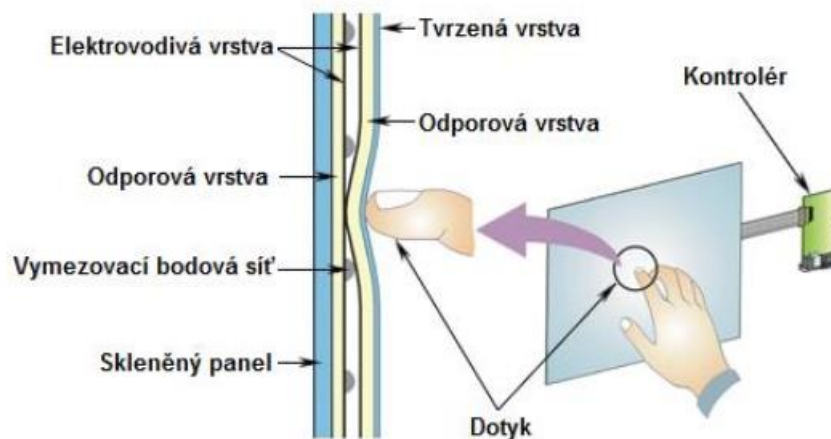
V předchozí kapitole byly vysvětleny možnosti využití displejů pro HMI. Ty se kombinují s dotykovými technologiemi, které pak zaručují rozpoznání a následné určení místa dotyku. Takovouto kombinaci lze označit za vstupní zařízení, které může bez problému nahradit současné technologie jako jsou myši či klávesnice. V následujících kapitolách budou popsány ty nejvyužívanější z nich

5.1 Odporová (rezistivní) dotyková vrstva

Základem této dotykové technologie jsou dvě elektricky vodivé odporové vrstvy, které jsou navzájem odděleny izolačním materiálem. Rezistivní materiál může být charakteru husté mřížky a tvoří tak velmi úzkou štěrbinu mezi těmito vrstvami. V místě dotyku obrazovky dojde ke zkratování těchto 2 odporových vrstev. Jinou možností je pěnovitý materiál, jehož elektrický odpor se mění s tloušťkou a při stisku této vrstvy dojde v tomto místě k výraznému snížení odporu. Výsledek je v obou případech zaznamenán v podobě souřadnic matice řádků a sloupců vodivé vrstvy.

Odporové dotykové obrazovky jsou levné a lze je bez problému ovládat v rukavicích či jakýmkoliv předmětem (není zde využíváno vodivosti ale tlaku). Poničení odporových vrstev nezpůsobí nefunkčnost displeje. Velká nevýhoda je v nemožnosti využití takového principu pro vícedotykové snímání. V případě, že se současně dotkneme na druhém místě, dojde k vytvoření velké plochy dotyku (místa dotyku se propojí). V závislosti na algoritmu je tato kombinace vyhodnocena buď jako jeden dotyk v nedefinovaném místě (poloha dotyku nebude odpovídat), nebo nebude zaznamenán vůbec. Velkou výhodou je možnost využití takovéto technologie i v náročných podmínkách jako jsou stříkající voda či dokonce ponoření pod hladinou (mokrý rukavice nejsou problém).

Existují 3 různé technologie a to čtyřvodičová, pětivodičová či osmivodičivá (příliš nevyužíváno) [19], [20].



Obrázek 18: Princip rezistivní dotykové technologie [18].

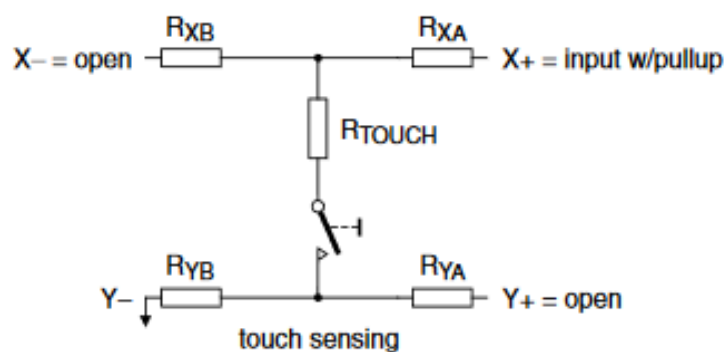
5.1.1 Čtyřvodičová technologie

Tato technologie je založena na čtyřech kontaktech. Dva pokovené kontakty jsou realizovány na krajích odporové vrstvy podél osy y (pro měření pozice dotyku X+ a X-). Další dva pokovené kontakty jsou realizovány na krajích odporové vrstvy podél osy x (pro měření pozice dotyku Y+ a Y-). Důležité je zaručit otočení těchto odporových vrstev o 90 ° vůči sobě.

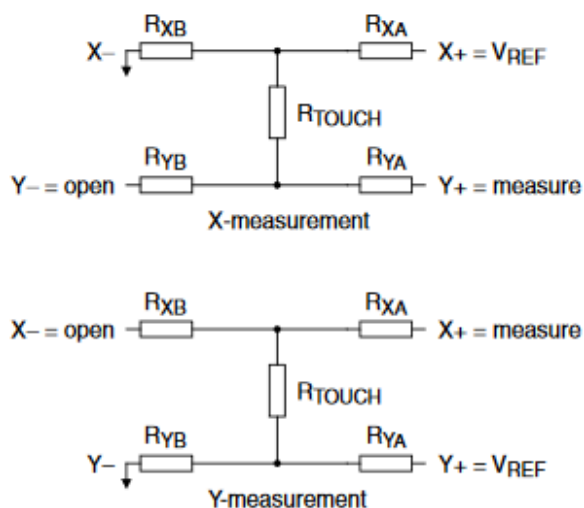
Ve výchozím stavu je odpor v ose X a odpor v ose Y shodný. V případě dotyku dojde ke změně poměru odporu v osách X a Y v závislosti na poloze bodu stlačení.

Pro zaregistrování dotyku je tedy vhodný následující postup. Na kontakt pro X osu (např. X+) přiložíme kladné napětí skrze pull-up rezistor. Y kontakt (Y-) uzemníme. Zbylé kontakty nastavíme jako input bez pull-up rezistoru. Stiskem dojde ke vzniku odporového děliče mezi odporovými vrstvami a pull-up rezistorem. Odpor pull-up rezistoru je mnohonásobně vyšší než odpory rezistivních vrstev, z čehož vyplývá, že napětí na kontaktu X+ poklesne téměř k nule. Dotyk tak lze zaregistrovat využitím přerušení na sestupnou hranu poklesu napětí (snímáno na X+).

Po zaregistrování dotyku je nutná nová konfigurace jednotlivých pinů připojených na displej, čímž nastane fáze určení místa dotyku. Pro osu X je pak kontakt X+ připojen na kladné napětí skrze pull-up rezistor (zůstává) a kontakt X- uzemněn. Kontakt Y- je nutné nakonfigurovat jako vstup bez pull-up rezistoru a na kontaktu Y+ lze změřit napětí (využitím AD převodníku), jehož hodnota je úměrná vzniklému odporovému děliči na odporové vrstvě v ose X. Pro změření pozice v ose Y je situace velmi podobná pouze se všechny konfigurace otočí pro opačnou osu. Situace je znázorněna na obrázcích 18 a 19. Pro lepší přehlednost je umístěna tabulka 2 znázorňující jednotlivé konfigurace pinů.



Obrázek 19: Princip snímání dotyku displeje [19].



Obrázek 20: Princip čtení místa dotyku [19].

Tabulka 2: Tabulka znázorňující konfiguraci jednotlivých pinů pro 4 vodičovou technologii

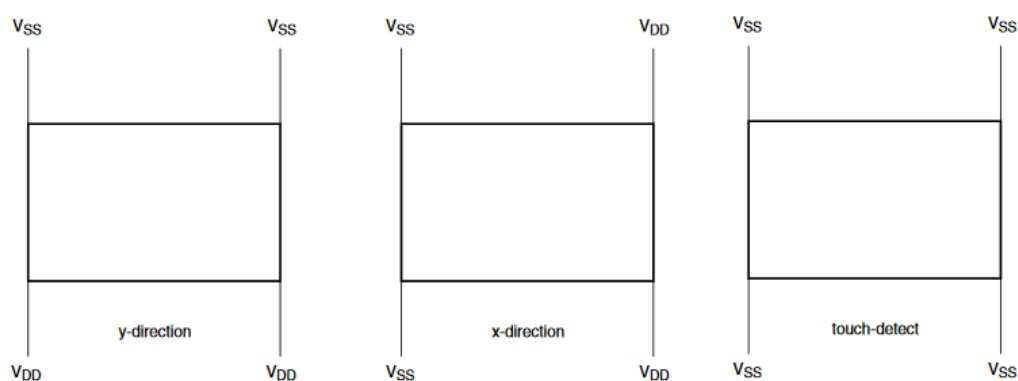
Fáze	X+	Y+	X-	Y-
Rozpoznání dotyku	Vstup s pull-up rezistorem	input bez pull-up	input bez pull-up	Uzemněno (GND)
Zjištění pozice v ose X	Vstup s pull-up rezistorem	A/D převodník	Uzemněno (GND)	input bez pull-up
Zjištění pozice v ose Y	A/D převodník	Vstup s pull-up rezistorem	input bez pull-up	Uzemněno (GND)

5.1.2 Pětivodičová technologie

Podstata této technologie se velmi podobá předešlé. Je zde k dispozici 5 vodičů. dva vodiče jsou opět kontakty odporové vrstvy v ose X, dva v ose Y a pátý vodič slouží pro měřicí účely. Výhoda je v jednodušší konfiguraci jednotlivých pinů pro zpracování místa dotyku.

Pro zaregistrování dotyku je v tomto případě nutné všechny 4 kontakty uzemnit. Poslední kontakt pak připojit na napětí skrze pull-up rezistor. Po dotyku dojde k detekovatelnému poklesu napětí, což lze zaregistrovat například přerušením.

Pro určení přesného místa dotyku v ose X je nutné postupovat následovně. Dva kontakty připojíme na napětí skrze pull-up rezistor a zbylé dva kontakty uzemníme. Na posledním vodiči je měřeno napětí. Stejný způsob je nutné opakovat pro obě osy (prohozením konfigurace pinů). Situace je znázorněna na obrázku 21.



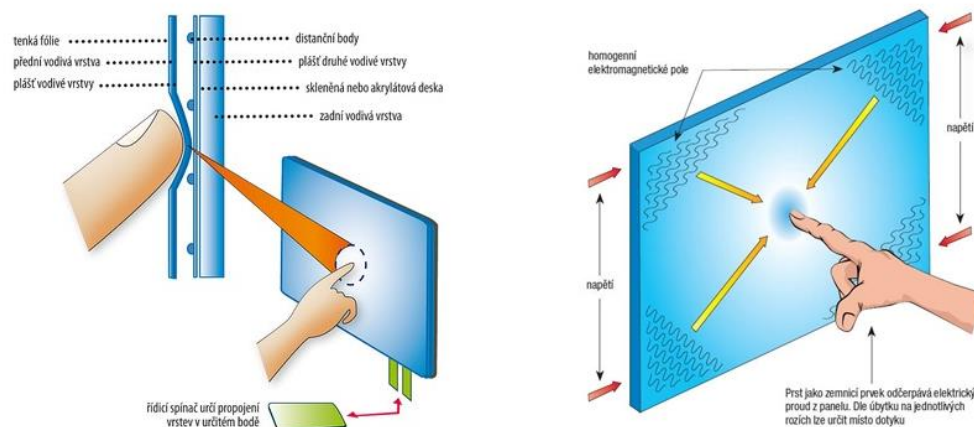
Obrázek 21: Princip čtení místa dotyku a registrace dotyku pro pětivodičovou rezistivní technologii [19].

5.2 Kapacitní dotyková vrstva

Princip snímání dotyku kapacitní mi snímači je založen na změně kapacity dvojité vrstvy. Ta je realizována nanesením tenkých vodivých vrstev na skleněnou podložku z obou stran. Vzniká tak jednoduchý deskový kondenzátor, kde vodivé vrstvy slouží pro přívod napětí a skleněná podložka je dielektrikem. Vrchní vodivá vrstva je pak ošetřena membránou pro ochranu.

V případě dotyku (lidský prst či vodivý předmět) dojde k připojení parazitní kapacity daného vodivého předmětu do obvodu, což způsobí změnu měřené kapacity. Díky tomuto jevu tak dojde ke špičkovému nárůstu proudu, jehož velikost je přímo úměrná místě dotyku. Nárůst proudu lze tedy využít pro registraci dotyku a za pomoci velikosti daného proudu je možné určit přesné místo dotyku. Velkou výhodou je možnost využití pro vícedotykové aplikace.

V žádném případě však tato technologie není vhodná do prostředí s extrémními podmínkami (stříkající voda či rukavice), což je způsobeno principem detekce založené na vodivosti [17].



Obrázek 22: Struktura kapacitního displeje (vlevo) a princip čtení místa dotyku a registrace dotyku pro kapacitní technologii [20].

Při výběru displeje je vhodné klást důraz na vhodnost použité dotykové technologie. Pro přehlednost je uvedena přehledová tabulka 3 porovnávající vlastnosti jednotlivých popsaných technologií spolu s dalšími, které výše nebyly uvedeny (důvodem je jejich malé rozšíření).

Tabulka 3: Přehled základních parametrů jednotlivých dotykových technologií

Technologie	Rezistivní 4-vodičivá	Rezistivní 5-vodičová	Kapacitní	SAW	IR
Odhadovaná životnost	3 roky	5 roků	2 roky	5 roků	5 roků
Odolnost	Vysoká	Velmi vysoká	Dostatečná	Velmi vysoká	Vysoká
Průzračnost	Špatná	Špatná	Dostatečná	Dobrá	Dobrá
Dotyk	Čímkoliv	Čímkoliv	Vodivý materiál	Prstem / Perem	Prstem / Perem
Odezva	< 10 ms	< 15 ms	< 15 ms	< 10 ms	< 20 ms
Citlivost na	poškrábání	poškrábání	znečištění	poškrábání	Okolní osvětlení
Cena	Nízká	Nízká	Průměrná	Vysoká	Vysoká

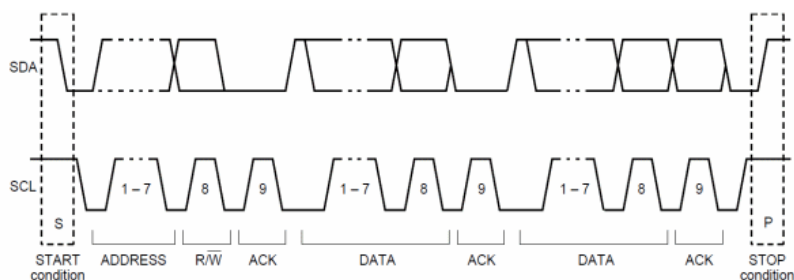
6 KOMUNIKAČNÍ ROZHRAŇÍ

Každý HMI displej obsahuje řadu komunikačních rozhraní, pomocí kterých je zajištěna komunikace s řídicím obvodem. Pro pochopení této problematiky je vhodné jednotlivé rozhraní pro komunikaci popsat. Nejčastěji se lze setkat s rozhraním I²C, RS-232, RS-485, CAN, USB, Ethernet či SPI. Přenosy dat skrze tyto rozhraní jsou pak řízeny protokolem daného komunikačního rozhraní.

6.1 I²C

Sběrnice I²C je tvořena dvojicí vodičů (SDA – data, SCL – časování). V praxi je nutné na oba vodiče připojit pull-up rezistory. Samozřejmostí je také společná zem pro všechny zařízení, které jsou na sběrnici napojeny. Zapojení pull-up rezistorů vytváří napětí na vodičích i v případě, kdy neprobíhá komunikace, což zaručuje výchozí stav této sběrnice. Na jednu sběrnici je možné zapojit několik zařízení, které budou komunikovat s hlavním (master) zařízením.

Řízení provozu na sběrnici má na starost master, který má jako jediný právo zahájit komunikaci. Opačná strana (slave) pak reaguje na daný dotaz. Nevýhodou je případ, kdy slave zařízení potřebuje oznámit nebo získat v daný okamžik informaci od master zařízení (například snímač požáru). Takovéto případy jsou řešeny metodou tzv. polingu (neustálého dotazování po daných časových intervalech), případně je slave zařízení vybaveno doplňkovým indikačním vodičem, kterým si tak vyžádá zahájení přenosu. Třetí možností je multi-master zapojení, což však většina periferních zařízení nepodporuje.



Obrázek 23: Princip datového přenosu na sběrnici I²C [21].

Ukázka přenosu dat je zobrazena na obrázku 23. Ve výchozím stavu jsou oba vodiče díky pull-up rezistorům ve stavu logické 1. V případě zahájení komunikace dojde k poklesu logické úrovně na vodiči SDA, což je označováno termínem start bit. Následně dojde k zahájení přenosu 7bitové adresy dotazovaného zařízení (na vodiči SCL je generován hodinový signál). Ihned za adresou následuje R/W bit, který určuje, zda jsou posílána data určena k zápisu (R jako read, logická 1) či ke čtení (W jako write, logická 0). Po odeslání těchto bitů následuje mezera o délce jednoho hodinového taktu pro

potvrzení přijatých dat (ACK bit). Po odeslání adresy dochází k dalšímu přenosu dat, které jsou taktéž potvrzovány ACK bitem. Ukončení komunikace je provedeno stop bitem (SCL se vrací do log. 1).

Zapojení několika zařízení na sběrnici je zaručeno adresací. Specifikace sběrnice I²C stanovuje, že první část adresy je z přiděleného rozsahu (výrobce čerpá z přiděleného rozsahu), zbylá část je nastavena pevně nebo určena HW konfigurací na pinech, které jsou pro tyto účely určeny. Lze se setkat i s případem vyspělejší adresace, a to za pomoci 8 či 10 bitů. V případě standardních 7 bitů je možné adresovat až 128 zařízení. U 10 bitů je to dokonce až 1024 adres. V praxi je však počet adresovatelných zařízení nižší z důvodu rezervovaných adres (broadcast adresa či další). Pro přenos 10bitové adresy je využita právě jedna z rezervovaných adres. V první fázi přenosu se přenese adresa, která má tvar 11110xx0, kde xx značí 8. a 9. bit. Následuje opakovaný přenos se zbylými bity adresy. Po ACK pak pokračuje přenos již běžným způsobem.

Sběrnice pracuje v různých režimech, které mají omezenou hodnotu maximální rychlosti. Tyto režimy jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4: Tabulka možných rychlostí sběrnice I²C [21].

Přenosová rychlost	Označení
10 kb/s	Low speed mode
100 kb/s	Standart mode
400 kb/s	Fast mode
1 Mb/s	Fast mode +
3,4 Mb/s	High speed mode

6.2 SPI

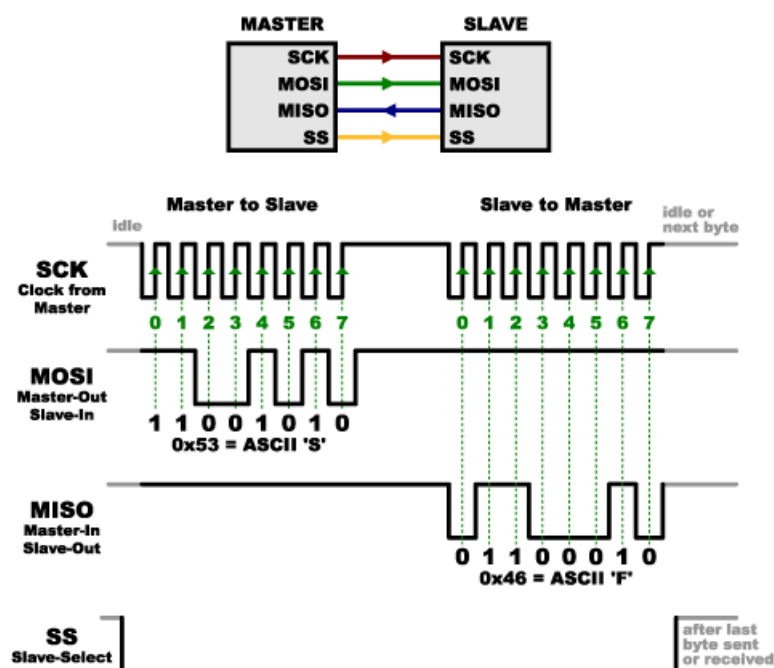
Opět se jedná o sériovou sběrnici, na rozdíl od předchozí je však komunikace obousměrná (full-duplex).

Sběrnice SPI je tvořena dvojicí datových vodičů MISO a MOSI. Pro synchronizaci doby vysílání a příjmu slouží vodič SCK. Samozřejmostí je společná zem všech zařízení umístěných na sběrnici. Nevýhodou této sběrnice je obtížnější komunikace s více zařízeními. Problém je vyřešen dalším vodičem, který je označen \overline{CS} . Pomocí něj je možné vybrat se kterým zařízením je v danou chvíli prováděna komunikace. Tento vodič musí být pro každé zařízení vyveden zvlášť. Znamená to obsazení dalších výstupů. Takovýto problém lze ošetřit alternativním způsobem zapojením, kdy \overline{CS} je společné pro všechny zařízení a vstup dat je přiveden na výstup následujícího zařízení (daisy-chain

zapojení). Vytvoří se tak v podstatě kruhový posuvný registr. Tento způsob připojení vyžaduje vlastní protokol pro zpracování dat.

Princip komunikace je opět charakteru master - slave. Sběrnice nevyžaduje připojení pull-up rezistorů. Po výběru zařízení, s kterým bude navázána komunikace, následuje samotný přenos, který je řízen SCK vodičem. U této sběrnice je široká variabilita synchronizace dat (nástupná či sestupná hrana, úroveň SCK v době nečinnosti). Po zahájení přenosu jsou s každým taktem posunuta data (na vodiči MOSI) do protějšího zařízení (zpracováno kombinací zachytného SSPSR a následného posuvného SSPBUF registru). Současně jsou posunuta data i na vodiči MISO ve směru ze zařízení slave do master. Po zpracování prvních dat zařízením slave je vytvořena odpověď vysílaná při další komunikaci skrze vodič MISO. Ukázkou přenosu lze vidět na obrázku 24.

Výhodou sběrnice je v možnosti velmi vysoké taktovací frekvence (není nutné přepínat mezi vysíláním a příjmem). Sběrnice má však velkou řadu nevýhod (nevhodné pro velké vzdálenosti, problematická komunikace s vyšším počtem zařízením, nutnost určení způsobu synchronizace, chybí ACK bit) [22].



Obrázek 24: Princip datového přenosu na sběrnici SPI [22].

6.3 UART

UART se řadí mezi asynchronní přenosové rozhraní, které lze označit jako half-duplex. Využívá 2 datových vodičů RXD, TXD a země. Vodič RXD je využit pro vysílání TXD pro příjem. Pro správnou komunikaci 2 zařízení je zapotřebí tyto vodiče zapojit do kříže.

Oba datové vodiče jsou ve výchozím stavu programově drženy v logické jedničce. Začátek přenosu je signalizován start bitem (log. 0). Po tomto bitu následuje 8 datových bitů. Na konci zprávy je umístěn stop bit, který uvede datový vodič do výchozí logické úrovně. Vlastní tělo zprávy lze modifikovat, a to paritním bitem případně dvěma stop bity. Paritní bit byl zaveden z důvodu ochrany přenášených dat a slouží jako náhrada kontrolního součtu. Zmíněný bit je nastaven do logické jedničky nebo nuly (dle nastavení) v případě, kdy daná zpráva obsahuje lichý/sudý (opět dle nastavení) počet jedniček. Tato kontrola ošetří případ, kdy vysílaná zpráva (např. 2. bit je logická 1) je odeslána v pořádku, avšak vlivem rušení, dojde k znehodnocení daného bitu (například 2. bit je při příjmu 0). V případě využití paritního bitu je ovšem možné přenést pouze 7 bitů.

Taktování tohoto rozhraní je řešeno za pomoci parametru „baud rate“, který udává počet bitů přenesených za sekundu. Tento parametr musí být na obou zařízeních stejný jinak by nedocházelo ke správnému zpracování posílané, respektive přijímané zprávy (nastaveno programově). Díky nastavenému baud rate pak obě zařízení ví, kdy mají daný bit odeslat a kdy přijímat.

Toto komunikační rozhraní je mnohdy využíváno pro rozsáhlé aplikace, nevýhodou je jeho rychlost, která nepřevyšuje 115 kb/s. Tento problém byl vyřešen novým rozhraním nazývaným USART, které vychází z rozhraní UART. Rozdílem USART rozhraní je především v možnosti synchronizace za pomoci externího zdroje taktu. Vstupní pin bývá označován XCK. Rychlost tohoto rozhraní může být mnohonásobně vyšší (ne vyšší, než u SPI). Další nevýhodou je propojení pouze dvou zařízení skrze jednu sběrnici [23].

6.4 RS-232

Toto rozhraní je řazeno mezi jedno z nejstarších. V dnešní době však stále využívané pro velké množství zařízení především proto, že je primárně průmyslovým standardem.

Princip přenosu informace vychází z rozhraní UART, který byl již výše rozebrán. Rozdílem jsou však napěťové úrovně, kterými je reprezentována logická 1 či 0. Díky tomu je tak toto rozhraní mnohem méně náchylnější na rušení. Napěťové úrovně pro logickou 0 a 1 jsou v rozsahu $\pm 5\text{ V}$ až $\pm 15\text{ V}$ (vysílač) a $\pm 3\text{ V}$ až $\pm 25\text{ V}$ (přijímač). Nedefinovaný stav je pak v rozmezí -3 V až $+3\text{ V}$. Všechny uvedené úrovně jsou vždy stažené k zemi.

Z historického hlediska je součástí tohoto rozhraní až 22 signálních vodičů (RXD - příjem, TXD - vysílání, RTS, CTS a další). V dnešní době se však nejčastěji využívají vodiče RXD, TXD a zem. V zapojení s mikroprocesorem je nutností využití externího převodníku (z důvodu jiných logických úrovní) [23].

6.5 RS-485

Svou podstatou vychází z předchozího rozhraní RS-232. Rozdílem jsou opět napěťové úrovně, kterými je reprezentována logická 1 či 0. Dalším zásadním rozdílem je, že tyto úrovně nejsou vztaženy k zemi, ale k protějšmu vodiči. Vhodnost využití pro průmyslové aplikace je velmi vysoká především z důvodu výrazně vyšší odolnosti na rušení. Komunikace na větší vzdálenosti jsou v tomto případě taktéž bezproblémové.

Vodiče využívající toto rozhraní se nejčastěji označují A a B. Lze se však setkat i s 4 vodičovým (full duplex) zapojením. Rozdíl napětí A – B větší než + 200 mV reprezentuje logickou 1. Rozdíl napětí A – B menší než – 200 mV pak logickou 0. Při návrhu je opět nutností externího převodníku pro převod logických úrovní [24].

6.6 USB

USB se řadí mezi asynchronní sériové rozhraní postavené na komunikaci master-slave (v tomto případě označováno jako host-zařízení). Lze připojit až 127 různých zařízení.

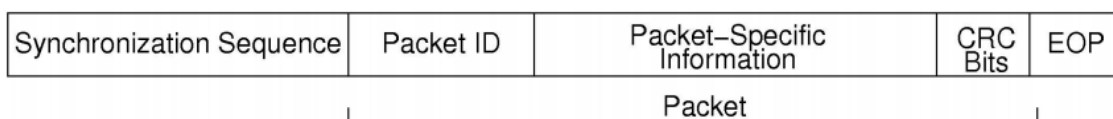
USB rozhraní využívá dvou datových vodičů (D + a D -) a dalších dvou napájecích vodičů, které lze bez problému využít pro napájení protějšku zařízení (až 500 mA pro standart USB 2.0).

Existuje několik USB standardů, které se liší především v jejich datové propustnosti. Lze se proto setkat s označením Low-speed (1,5 Mb/s, USB 1.0), Full-speed (12 Mb/s, USB 1.1), High-speed (480 Mb/s, USB 2.0), Super-speed (5 Gb/s, USB 3.0) nebo Super-speed+ (10 Gb/s, USB 3.1). Pro rozeznání se využívá hardwarové konfigurace. Na straně hosta jsou tak na oba datové vodiče umístěny pull-down rezistory. Na straně zařízení je na jednom z datových vodičů umístěn pull-up rezistor (USB 1.0 na D-, USB 1.1 na D+). V případě využití standardu vyššího je vždy nastaven standard USB 1.1, a následně je za pomoci počáteční konfigurace přenastaven na vyšší standard.

Při připojení zařízení na sběrnici USB se host dozví o jeho přítomnosti (díky přivedení napětí na jeden z datových vodičů) a následně je provedena počáteční konfigurace (nastavení proudového odběru, nastavení standardu, přidělení adresy zařízení). Součástí je mnohdy i instalace ovladače. Po spárování zařízení řídí veškerou komunikaci host. Data se přenáší v paketech, které jsou kódovány metodou NRZI, která je diferenciální.

Obecně lze komunikaci USB rozdělit do základních typů paketů, které jsou označovány Token, Data či Handshake. Token paket je využíván pro identifikaci začátku přenosu (mimo jiné definuje také typ přenosu IN, OUT, SETUP, SOF). Tento paket se skládá z adresy cílového zařízení, čísla registru a směru přenosu. Data paket se využívá pro přenos dat (maximálně 1024). Handshake paket je využíván pro potvrzení přenosu

Každý paket je složen z několika základních bajtů. První bajt je označován synchronizační sekvencí a zaručuje taktování sběrnice (jiná forma hodinového signálu). Tento bajt se skládá z osmi bitů 0000 0001. Následuje packet Identifier, který je složen z dalších osmi bitů. První čtyři bity označují typ paketu, zbylé bity jsou pak využity pro zabezpečení (kontrolní součet). Po packetu identifier jsou posílána samotná data. Poté následuje kontrolní součet (CRC). Posledním bajtem je „end of packet“ (EOP) skládající se ze 2 bitů (single-ended-zero). Struktura paketu je znázorněna na obrázku 25.



Vzhledem k tomu, že na sběrnici USB je možné zapojit až 127 zařízení, je nutné rozdělit přenosové pásmo mezi připojené zařízení. USB standard se tedy skládá nejčastěji z 4 základních typů přenosů. První možný typ přenosu je označován jako řídicí a slouží k počáteční konfiguraci zařízení a jejich následnému řízení. U tohoto přenosu je zaručena 100 % spolehlivost doručení dat (každé USB zařízení má implementován registr 0, který je využíván právě pro konfigurační účely). Další z možných přenosů je označován jako Přerušení. Takovýto přenos je využíván především u vstupních zařízeních jako jsou myši či klávesnice a funguje na principu poolingů daného zařízení. Předposlední možný přenos, označovaný jako Dávkový (někdy také označován jako Bulk), slouží především pro posílání objemných dat a má nejnižší prioritu. V případě chyby se paket musí přenášet znovu. Typickými zařízeními využívající tento typ přenosu jsou tiskárna či scanner. Poslední z možných přenosů je Isochronní přenos. Je využíván především pro zařízení vyžadující přenos dat bez zpoždění (real time) jako například audio či video data [25].

6.7 Ethernet

Komunikace na tomto rozhraní je realizována formou rámců. V dnešní době jsou dva možné formáty tohoto protokolu, a to díky IPV6, jejíž paket je oproti předchozí verzi (IPV4) výrazně jednodušší. Každý paket se skládá z preambule, cílové a zdrojové MAC adresy, typu protokolu vyšší vrstvy, datové části a kontrolního součtu. Složení paketů bylo následně upraveno dle vyšších standardů. Tyto standardy zde nebudou uvedeny. Opět je zapotřebí ethernetového převodníku (způsobeno kódováním dat NRZI) [26].

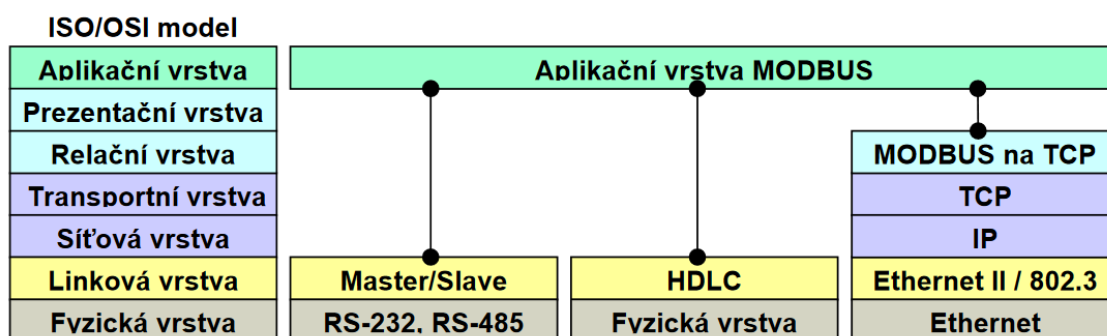
7 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

V této kapitole je snahou popsat jeden ze základních a zároveň nejpoužívanějších protokolů pro průmyslové aplikace.

7.1 Modbus protokol

Tento protokol byl vyvinut firmou Modicon, která jej následně aplikovala na všechna svá vyráběná zařízení. Postupem času se ukázal jako robustní a Modicon zveřejnil jeho dokumentaci spolu s principy, čímž se stal otevřeným protokolem a jeho využití začalo rapidně stoupat. Dnes se nachází takřka v každém průmyslovém zařízení.

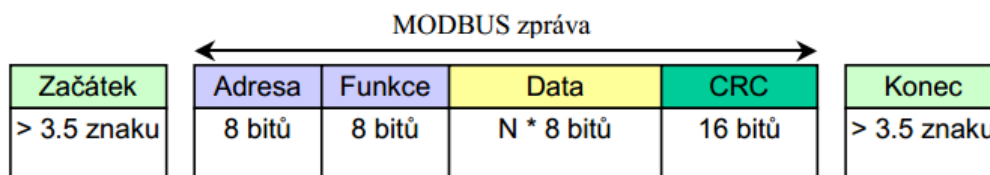
Protokol je možné využít na jakékoliv sběrnici, což usnadňuje jeho aplikaci. Nejčastěji využívané sběrnice jsou RS-232, RS-485 (UART), optické nebo rádiové sítě či Ethernet. V případě využití sběrnice Ethernet má však jinou strukturu rámce (vhodná pro účely Ethernet aplikací – Modbus TCP). Tento protokol vychází z ISO/OSI modelu, což je patrné na obrázku 26.



Obrázek 26: Ilustrace implementace Modbus protokolu pro různé sběrnice [27].

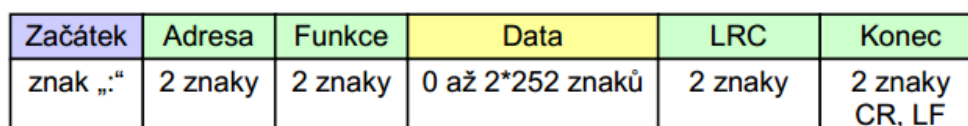
Komunikace protokolu je založena na principu master - slave (slave zařízení jsou adresovány), přičemž každá zpráva je složena z několika částí, které jako celek tvoří paket. Každý paket tedy obsahuje PDU část, která se skládá z kódu funkce (1 byte) a datové části. Na aplikační vrstvě (ADU) je k PDU části přidána adresa zařízení a CRC součet. V tomto protokolu jsou definovány dva možné vysílací režimy (Modbus RTU nebo ASCII), které určují formát zprávy a způsob dekodování.

V případě využití vysílacího režimu Modbus RTU se jako start bit a stop bit využívá časové mezery 3,5 znaku (doba trvání této mezery je určena z baudrate). Struktura takovéto zprávy je možná vidět na obrázku 27.



Obrázek 27: Struktura zprávy v případě využití Modbus RTU formátu [27].

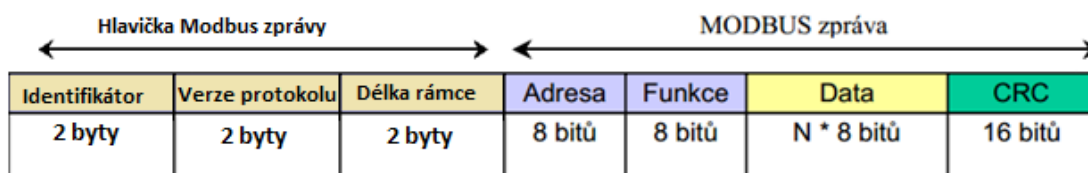
Při využití formátu Modbus ASCII je struktura zprávy velmi podobná. Jako Start bit je zde využíváno znaku „:“ a stop bit je určen 2 znaky CR a LF.



Obrázek 28: Struktura zprávy v případě využití Modbus ASCII formátu [27].

Na sběrnici se lze setkat se zprávami typu žádost, odpověď (struktury stejné jako v obrázcích výše) a chybové odpovědi, jejíž struktura je shodná, ale ke kódu funkce je přičtena konstanta 0x80 a v datech je pak obsažen chybový kód funkce.

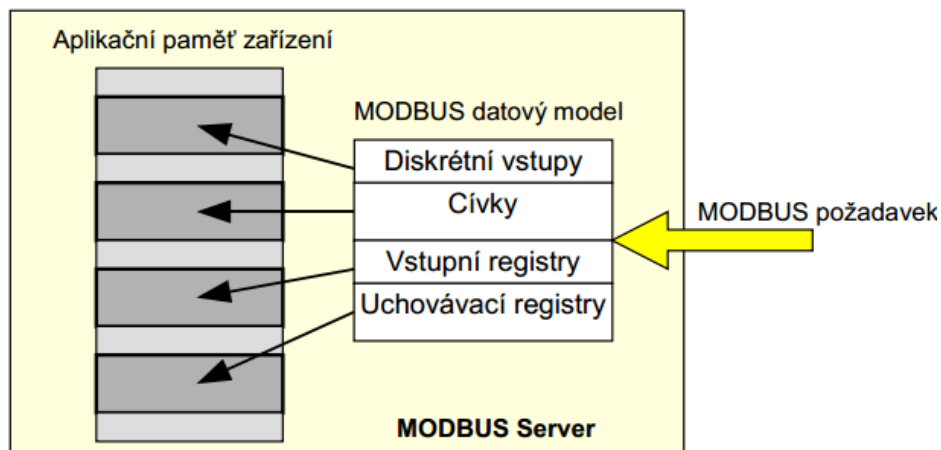
V případě využití Modbus protokolu v sítích ethernet (nejčastěji využíváno síťových prvků jako může být switch či router), je skladba zprávy dle obrázku 29. K PDU části zprávy je v tomto případě přiložena hlavička (MBAP), která se skládá z identifikátoru, verze protokolu a délky rámce.



Obrázek 29: Struktura zprávy v případě využití Modbus TCP/IP formátu [27].

Lze si tedy všimnout, že každá zpráva je složena z adresy a funkce. Adresa je využívána pro výběr slave zařízení a je zapotřebí, aby byla jednoznačná. Mnohdy ji lze nastavit softwarově případně hardwarově.

Funkce je v protokolu Modbus využívána pro specifikaci daného požadavku a je rozdělena do několika kategorií (veřejné a uživatelsky definované funkce). Kódy veřejných funkcí jsou schvalovány společností MODBUS-IDA a jejich hodnoty jsou v rozsahu 1 – 64, 73 – 99 a dále pak 111 – 127. Uživatelsky definovaný kód funkce je v rozsahu 65 – 72 a 100 – 110. V praxi se lze setkat i s rezervovanými kódy funkcí, které využívají některé firmy, a tudíž nejsou veřejně dostupné. Registry daného zařízení jsou rozděleny podle funkcí. Situace je znázorněna na obrázku 30. Kódy některých funkcí jsou znázorněny na obrázku 31. Každé z zařízení komunikujících na protokolu Modbus musí obsahovat standardizované registry pro správu komunikace. Jejich struktura je uvedena v tabulce 5.



Obrázek 30: Příklad rozložení Modbus registrů [27].

				Kódy funkcí				
				Kód	Podfunkce	hex		
Přístup k datům	Bitový přístup	Fyzické diskrétní vstupy	Čti diskrétní vstupy	02		02		
		Interní bity nebo fyzické cívky	Čti cívky	01		01		
			Zapiš jednu cívku	05		05		
			Zapiš více cívek	15		0F		
	16- bitový přístup	Fyzické vstupní registry	Čti vstupní registr	04		04		
		Interní registry nebo fyzické výstupní registry	Čti uchovávací registry	03		03		
			Zapiš jeden registr	06		06		
			Zapiš více registrů	16		10		
			Čti/zapiš více registrů	23		17		
			Zapiš registr s maskováním	22		16		
			Čti FIFO frontu	24		18		
			Přístup k záznamům v souborech	Čti záznam ze souboru	20	6	14	
	Zapiš záznam do souboru	21		6	15			
	Diagnostika			Čti stav	07		07	
				Diagnostika	08	00-18, 20	08	
				Čti čítač kom. událostí	11		0B	
Čti záznam kom. událostí				12		0C		
Sděl identifikaci				17		11		
Čti identifikaci zařízení				43	14	2B		
Ostatní			Zapouzdřený přenos	43	13, 14	2B		
			CANOpen základní odkaz	43	13	2B		

Obrázek 31: Přehled důležitých veřejných kódů funkcí [27].

Tabulka 5: Přehled rozložení registrů Modbus protokolu

Rozsah registru	Typ registru	Popis
1-10 000	Čtení / Zápis	Diskrétní výstupy nebo cívky
10 001 – 20 000	Pouze Čtení	Diskrétní vstupy
30 001 – 40 000	Pouze Čtení	Analogové vstupy
40 001 – 50 000	Čtení / Zápis	Holding registry nebo analogové výstupy

8 PŘEHLED DOSTUPNÝCH HMI

V této kapitole jsou vybrány některé z dostupných HMI displejů, které jsou dále představeny. Pro úplný přehled je níže umístěna tabulka.

8.1 Produkty společnosti WEINTEK

Tato společnost nabízí několik variant HMI displejů. Jedná se o produkty řady iP, iE, XE, cMT, eMT, iER. Většina parametrů je však velmi podobná. Velkou výhodou těchto displejů je vysoký stupeň IP krytí. Běžný stupeň krytí jejich displejů je IP65, někdy se lze setkat i s IP67. Cena nabízených produktů se pohybuje okolo 5 000 – 10 000 Kč.

HMI displeje z řady Ip disponují různou velikostí zobrazovací plochy v rozmezí 4,3 až 7 palců. Kontrast těchto displejů je uváděn 500:1. Technologie displeje je u této řady zvolena TFT s LED podsvícením. Použitá dotyková plocha je 4 vodičového rezistivního charakteru. Použitý procesor výpočetní logiky je v tomto případě 32 bitový Cortex A8 s taktovací frekvencí 600 MHz. Paměť programu je zde 128 MB s další pamětí RAM 128 MB. Ne všechny modely v této řadě jsou vybaveny Ethernet rozhraním, avšak ve většině případů jsou k nalezení RS-232, RS-485 či USB. HMI této řady jsou ořezány o většinu pokročilejších funkcí pro samotné programování displeje. Z nabízených modelů je tato řada nejzákladnější a její cena je nejnižší.

Další řada iE je parametrově velmi podobná jako řada iP. Rozdílem je především možnost využití pokročilejších funkcí pro programování a menší rozměry. Tyto displeje jsou však dražší.

Mezi pokročilejší řadu lze řadit XE, u které se můžeme setkat i s kovovým rámečkem. Tato řada je k dispozici s podstatně větší zobrazovací plochou (9,7 – 15 palců) s výrazně vyšším rozlišením. Dále disponují vyšší pamětí pro program a výkonnějším 32bitovým procesorem Cortex A8 s taktovací frekvencí 1 Ghz. Tato řada vyniká velmi širokým výběrem rozhraní RS-232, RS-485, USB a Etherent.

Řada iER je svými parametry velmi podobá řadě iE či iP, jedná se ale o displeje uzpůsobené pro vestavěné aplikace. Tomu odpovídá příslušná úprava jejich rámečku (IP krytí však zůstává).

Posledními řadami jsou eMT a cMT. Jedná se o nejpokročilejší z vyjmenovaných možností. Tyto řady umožňují dokoupení serveru, na který bude HMI displej napojen. Díky tomu je možné se na tyto displeje připojit skrze tablet a další zařízení vybavené bezdrátovou technologií, a provádět jejich správu dálkově. Další výhodou této řady je osazení HMI displejů reproduktory. V porovnání s řadou XE mají tyto řady podobné výkonnostní parametry.

Novinkou HMI displejů nabízených výrobcem Weintek je především aplikace nazvaná Easy access 2.0. S její pomocí je možné přistupovat k danému HMI zařízení skrze VPN tunel. Nutností je však zakoupení licence a připojení daného HMI displeje do domény. Výhodou je velmi snadný přístup k jakémukoliv HMI displeji skrze tuto doménu (každý HMI displej musí být zaregistrován). Tato služba je však podporována pouze na některých řadách a konkrétních modelech [7].

8.2 Produkty 4D SYSTEMS

Tyto displeje jsou vybavením podstatně jednodušší než výše uvedené produkty společnosti Weintek. Pro jednoduché aplikace je jejich využití dostačující, a jejich výhodou je také použití rámečků se zaručeným IP krytím.

Jako nejzajímavější z této řady jsou produkty gen4 HMI. Displeje jsou nabízeny v různých velikostech (2,8 – 7 palců) s možností uchycení rámečku a jsou dostupné s rezistivní či kapacitní dotykovou plochou. Jako procesor je zde použit 16 bitový Picaso či Diablo. Paměť je v tomto případě podstatně nižší a pohybuje se okolo 10 až 50 kB. Takováto velikost paměti se může zdát malá, což bylo vyřešeno slotem pro SD kartu, kde je pak možné uložit obrázky, videa či jiné soubory potřebné pro zobrazování. Některé piny použitého procesoru mohou být využity pro vlastní potřeby řízení. Zajímavostí je také možnost programování vlastní grafiky, což využijí spíše zkušení programátoři. V tomto případě se lze setkat s RS-232, RS-485, I²C a SPI rozhraními.

Z parametrů a designu lze usoudit, že použitelnost takového displeje je spíše pro nenáročné aplikace. Cena této kategorie také odpovídá a je výrazně nižší.

8.3 Produkty společnosti MIKROELEKTRONIKA

Tyto displeje se designem velmi podobají displejům od společnosti 4D Systems, výbavu mají v tomto případě vyspělejší.

Vyráběné displeje mají velikosti 3,5 – 7 palců. Opět je zde možnost dokoupení rámečku pro vestavěné systémy. Displej má osazenu rezistivní případně kapacitní dotykovou plochou. Pro řízení jsou používány 32 bitové procesory FT900 s pamětí programu o velikosti 256 KB. V případě potřeby vyššího paměťového úložiště je možné využít SD kartu případně 8 MB flash paměť. I zde je možné využít volných pinů procesoru pro vlastní potřebu. Displeje jsou většinou vybaveny rozhraním CAN, SPI, I²C či UART. Vhodnost takovýchto displejů je však spíše pro účely nenáročných aplikací.

8.4 Srovnání

Další možné dostupné HMI displeje lze vidět tabulce 6 a 7. Poznámky uvedené v tabulkách jsou vysvětleny níže

Tabulka 6: Přehled dostupných HMI displejů

	4D systems	Weintek	Schneider Electric	Advantech	Riverdi (5)
IP krytí	ano ⁽¹⁾	ano	ano	ano	ano
Cena ⁽⁸⁾	1 000 - 5 000	5 000+	5 000+	5 000+	1 000 - 5 000
Velikost paměti programu	128 MB +	128 MB +	64 MB+	128 MB +	Nespecifikováno
Procesor	Diablo, Picaso	Cortex A8	Nespecifikováno	Cortex A8	FT813
Architektura procesoru	16bitový	32bitový	32bitový	32bitový	16bitový
Rozhraní pro komunikaci	RS-485, RS-232, I ² C, SPI	RS-232, RS-485, Ethernet	RS-232, RS-485, Ethernet	RS-232, RS-485	SPI, I ² C
Programování, vytváření grafiky	Workshop4IDE ⁽²⁾	EasyBuilder PRO ⁽³⁾	Dodávaný na CD ⁽⁴⁾	WebOP-2000T	Nespecifikováno
Dotykový panel	rezistivní / kapacitní	rezistivní	Nespecifikováno	Nespecifikováno	kapacitní

Tabulka 7: Přehled dostupných HMI displejů pokračování

	BRIDGETEK (FTDI) ⁽⁶⁾	Mikroelektronika	Nextion HMI (verze z číny)
IP krytí	ano ⁽¹⁾	ano ⁽¹⁾	ne
Cena ⁽⁸⁾	1 000 - 5 000	2 000 - 6 000	1 000 - 2 000
Velikost paměti programu	256 KB	256 KB	4 MB +
Procesor	FT90xx	FT900	nespecifikováno
Architektura procesoru	16bitový/32bitový	32bitový	nespecifikováno
Rozhraní pro komunikaci	SPI	SPI, I ² C, UART (RS-232)	UART (RS-232)
Programování, vytváření grafiky	dle stránek	Visual TFT (7)	Nextion Editor
Dotykový panel	rezistivní	rezistivní/kapacitní	rezistivní

Tabulka 8: Přehled dostupných HMI displejů poznámky

(1)	Splňuje pouze v případě s rámečkem (lze dokoupit)
(2)	Licence softwaru kolem 2000 (není třeba plná verze lze programovat kódově-demo verze pouze hotové objekty)
(3)	Free PRO verze
(4)	Softem lze vytvořit grafickou podobu na PC a následně pomocí USB přenést do panelu
(5)	Osazená řadičem FT800 nebo FT81x
(6)	ME81x lze programovat i přes PC aplikaci EVE Screen Designer, EVE Screen Editor; FT9xx lze také programovat přes Eclipse
(7)	Demo verze neumožňuje překlad – nutné zakoupit licenci (asi 2500 Kč)
(8)	Cena závisí na velikosti displeje

9 VÝBĚR HMI

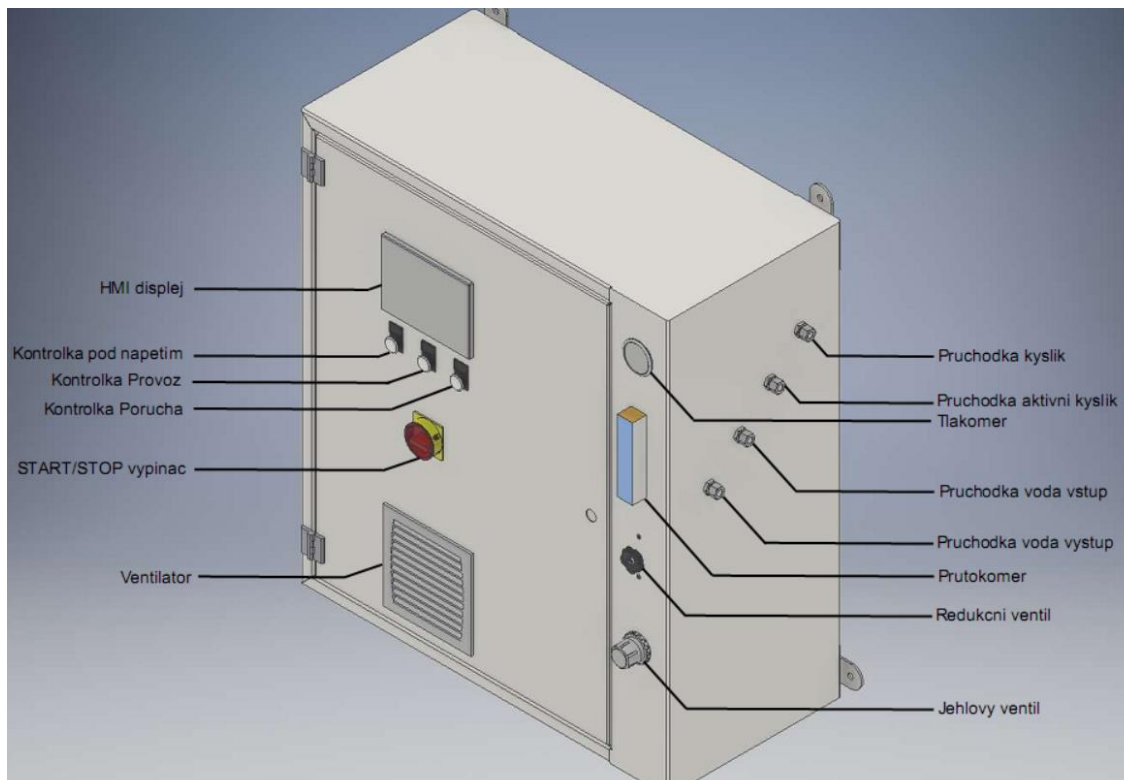
Při výběru displeje je nutné specifikovat požadované parametry. Těmito parametry jsou především splnění kritéria IP krytí, rezistivní dotykový displej, velikost obrazovky 5 nebo 7 palců, cena do 6 000 Kč. Tyto požadavky splňují displeje od firem Weintek, Schneider Electric, Advantech, Riverdi. V případě Riverdi je nutné programovat daný procesor manuálně, což znesnadňuje jednoduchost vývoje. Vývojové prostředí od společností Weintek a Advantech se velmi podobají. Vývojové prostředí od Schneider Electric je dodáváno na CD a náhled na tento software tedy není k dispozici. Z dostupné nabídky byl tedy zvolen HMI displej MT6070ip od společnosti Weintek, především z důvodu intuitivního prostředí a předchozích zkušeností s tímto displejem. Rozhraní, kterými tyto displeje disponují jsou RS-232, RS-485, USB případně Ethernet. Pro komunikaci s mikroprocesorem je tedy bez problému možné využít téměř jakékoliv komunikační rozhraní. V tomto případě bylo zvoleno RS-485 rozhraní především z důvodů vysoké imunity vůči rušení. Jako komunikační protokol je zvolen Modbus.

10 PŘEDSTAVENÍ PRŮMYSLOVÉHO ZAŘÍZENÍ

Jak již bylo řečeno, v rámci této práce je využito již hotového průmyslového zařízení, které je v této kapitole detailněji představeno.

Na obrázku 32 lze vidět 3D model rozvaděče zařízení sloužící k produkci aktivního kyslíku. Celé zařízení se skládá z rámu pro rozvaděč, který je na něj ukotven. Součástí sestavy je také kyslíkový generátor, zařízení pro vysoušení vzduchu a chladicí jednotka pro chlazení vody. Ovládání je zajištěno skrze dotykový HMI displej. Celá sestava je možná vidět na obrázku 33. Na displeji je nastaven výkon a na základě nastaveného výkonu dochází k postupnému zvyšování koncentrace aktivního kyslíku. Ve většině případů je pak takovéto zařízení využito pro dezinfekci bazénových vod (náhrada dezinfekce chlórem). Toto zařízení využívá chemickou metodu dezinfekce.

V principu se skládá z několika základních bloků. Sít'ové napětí je přivedeno do napájecího zdroje, jehož výstupní napětí je rovno 24 V. Výstupní napětí je využito pro napájení řídicí logiky, signalizačních LED a řídicího systému. Řídicí systém na základě nastaveného výkonu na displeji ovládá frekvenční měnič, který za pomoci vysokonapěťového transformátoru řídí výkon výbojového modulu. Do výbojového modulu je přiveden kyslík a díky vzniklému výboji dochází k produkci aktivního kyslíku. Blokové zapojení rozvaděče odpovídá uvedenému zapojení na obrázku 1.



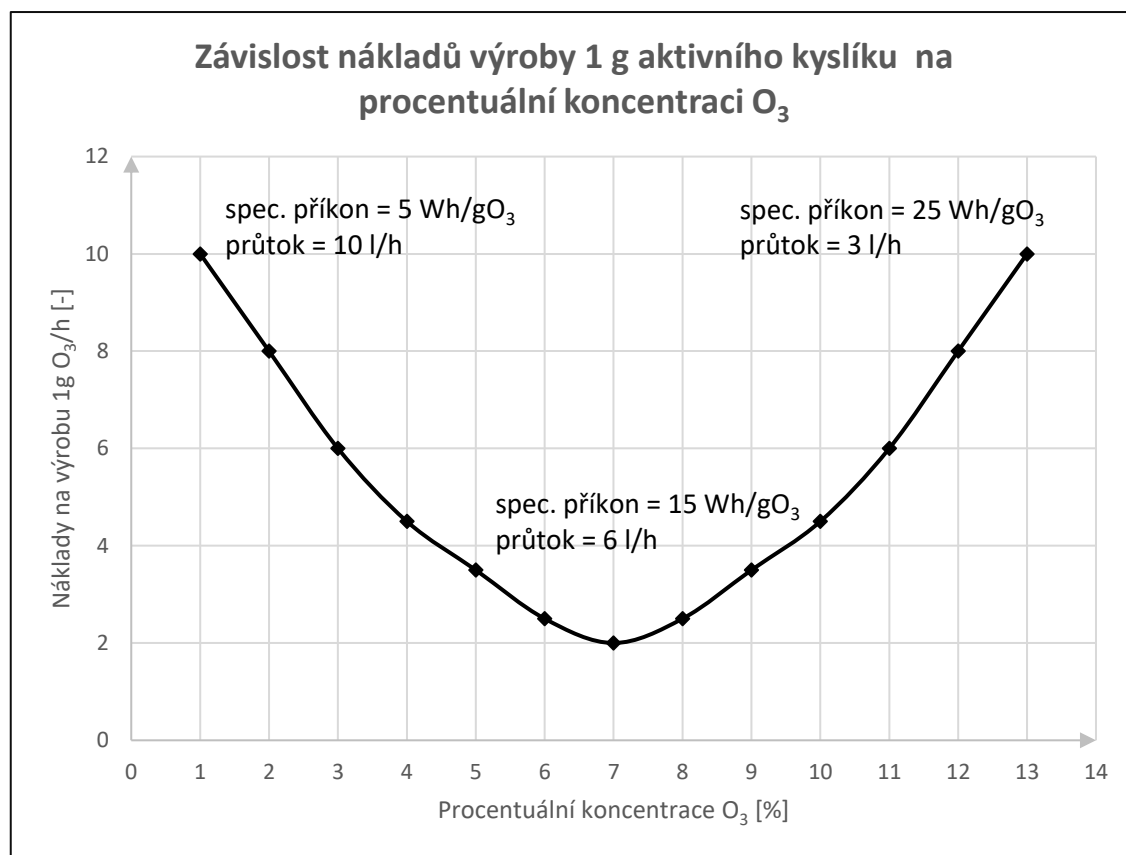
Obrázek 32: 3D model rozvaděče průmyslového zařízení.

Provoz zařízení je rozdělen do několika stavů, a to vypnuto, proplach, produkce a chyba. Ve stavu proplach dochází k propláchnutí výbojového modulu kyslíkem (otevření elektronického ventilu). Frekvenční měnič však není zpuštěn, a proto v tomto stavu nedochází k produkci. Tento stav je zaveden především z důvodů zvýšení stability celého systému. Proplach trvá vždy nastavenou dobu na HMI displeji a je zaveden před zahájením a po ukončení produkce. Signalizace stavu je indikována přerušovaným blikáním LED provozu. Ve stavu produkce, kdy kromě regulovaného průtoku kyslíku je zapnuto i jiskřiště a jeho výkon je regulován, svítí signalizační kontrolka kontinuálně. Funkce zbylých stavů jsou zřejmé z jejich názvů, a proto nebudou detailněji rozebrány.



Obrázek 33: Ilustrace představovaného průmyslového zařízení. Na sestavě je možné vidět rozvaděč (nahore vpravo), kyslíkový generátor (vlevo dole), chladicí jednotku vody (vpravo dole) a sušičku vzduchu (za kyslíkovým generátorem)

Aktivní kyslík je bohužel velmi nestabilní, a proto je nutné regulovat efektivitu výroby. Další z problémů je pak cena suchého kyslíku. Z těchto důvodů je na představený systém navržena řídicí jednotka, která slouží pro řízení průtoku kyslíku a nastavení příslušného výkonu tak, aby výsledná produkce 1 g aktivního kyslíku byla co nejlevnější. Díky tomu je pak vyrobena příslušná koncentrace aktivního kyslíku za vynaložení co nejmenší množství energie systému spolu s co nejnižším množstvím spotřebovaného kyslíku. Efektivitu produkce v závislosti na koncentraci vyprodukovaném ozónu charakterizuje graf na obrázku 34. Tento graf vznikl dlouhodobým měřením a zpracováním produkčních dat na vyvíjených systémech. Uvedené hodnoty jsou pouze orientační (přesné parametry jsou součástí firemního tajemství).



Obrázek 34: Graf nákladů výroby 1 g aktivního kyslíku.

Tento graf zohledňuje oba výše uvedené parametry (množství kyslíku a vynaloženou energii), které ovlivňují výslednou cenu 1 g vyrobeného aktivního kyslíku. V grafu je použito zkratky spec. příkon. Tato zkratka odpovídá pojmu specifický příkon a jeho vysvětlení je uvedeno při výpočtu v rovnici [4]. Při maximálním průtoku, ale nižším výkonu je výroba nákladná především z důvodu vysoké spotřeby kyslíku. Při malém průtoku, avšak maximálním výkonu je výroba opět nákladná. Je proto nutné, tyto veličiny nastavit kompromisem. Z grafu vidíme, že nejeftivnější produkce je při 7% koncentraci aktivního kyslíku. Z těchto důvodů musí navrhovaný regulační systém nastavovat výkon a průtok odpovídající této koncentrační úrovni.

Pro pochopení principu regulace byla změřena koncentrace pro jednotlivé průtoky při konstantní teplotě chladicí vody. Jako měřicí aparát byl využit měřič koncentrace aktivního kyslíku APS 66 od společnosti INSA. Průtok kyslíku byl regulován kyslíkovým generátorem Onyx Ultra AirSep [30]. Teplota vody byla udržována chladícím zařízením CHW 21 [31] od společnosti OMI. Kyslík byl vysušen za pomoci vysoušecího zařízení DD36 [32] od společnosti OMI. Toto měření bylo časově náročné (je nutné odečítat ustálené hodnoty koncentrace), a proto se v měření mohou vyskytnout odchylky. Příklad změřené tabulky lze vidět níže.

Tabulka 9: Změřené a vypočtené hodnoty pro průtok 10 l/min

teplota vody [°C]	Průtok kyslíku Onyx Ultra [l/min]	Průtok kyslíku odečteno [NL/min]	Nastavený výkon [%]	Koncentrace [gO ₃ /m ³]	Příkon měniče [W]	Produkce [gO ₃ /h]	Specifický příkon [Wh/gO ₃]	Koncentrace O ₃ [%]
8			0					
	10	8	10	0	0	0	0	0
	10	8	20	58	200	27,8	7,2	4,1
	10	8	30	85	300	40,8	7,4	5,9
	10	8	40	102	470	49	9,6	7,1
	10	8	50	118	600	56,6	10,6	8,3
	10	8	60	135	700	64,8	10,8	9,4
	10	8	70	160	900	76,8	11,7	11,2
	10	8	80	170	1000	81,6	12,3	11,9
	10	8	90	175	1200	84	14,3	12,2
	10	8	100	180	1500	86,4	17,4	12,6

Teplota vody byla nastavena na hodnotu 8 °C. Nastavený průtok byl odečítán z obou průtokoměrů (jak na rozvaděči, tak na kyslíkovém generátoru). Do výpočtů však byla dosazována hodnota průtoku odečtená z průtokoměru osazeném na rozvaděči, který je kalibrován na 20 PSIG (sloupec průtok kyslíku odečteno). Při měření se pak zvyšoval výkon za pomoci HMI displeje (sloupec nastavený výkon %), a následně byla odečtena příslušná koncentrace. Zároveň bylo zapotřebí změřit odebíraný příkon měniče, což bylo provedeno za pomoci osciloskopu. Výsledné produkce, procentuální koncentrace a specifický příkon byly následně dopočítány za pomoci rovnic [3] až [5].

Nejprve je z naměřených hodnot vypočítána produkce. Všechny jednotky je třeba převést na základní jednotky SI. Konkrétně se jedná o průtok kyslíku, který je převeden z l/min na jednotky m^3/h . V rovnici je tento převod roven zlomku $\frac{60}{1\,000}$.

$$\begin{aligned} Produkce_{pro\ výkon=30\%} &= Průtok_{kyslíku} \cdot \frac{60}{1\,000} \cdot Koncentrace \\ &= 8 \cdot \frac{60}{1\,000} \cdot 85 \cong 40,8\ gO_3/h. \end{aligned} \quad [3]$$

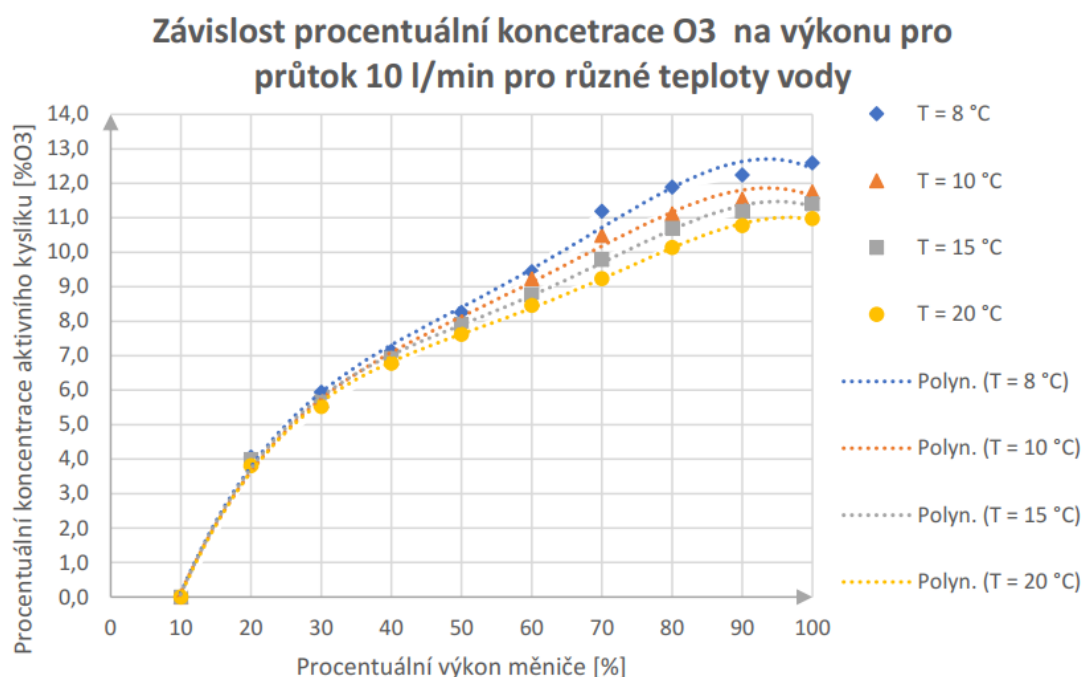
Dále je třeba vypočítat specifický příkon. Tato veličina udává množství vynaložené energie na vyprodukování příslušné koncentrace aktivního kyslíku. Pro výpočet procentuální koncentrace je proto rozhodujícím faktorem a její velikost stanovuje míru efektivity výroby daného množství aktivního kyslíku. Tato závislost je zobrazena na grafu výše (graf v obrázku 34).

$$\begin{aligned} Specifický\ příkon_{pro\ výkon=30\%} &= \frac{Příkon\ měniče}{Produkce} = \frac{300}{40,8} \\ &\cong 7,4\ Wh/gO_3. \end{aligned} \quad [4]$$

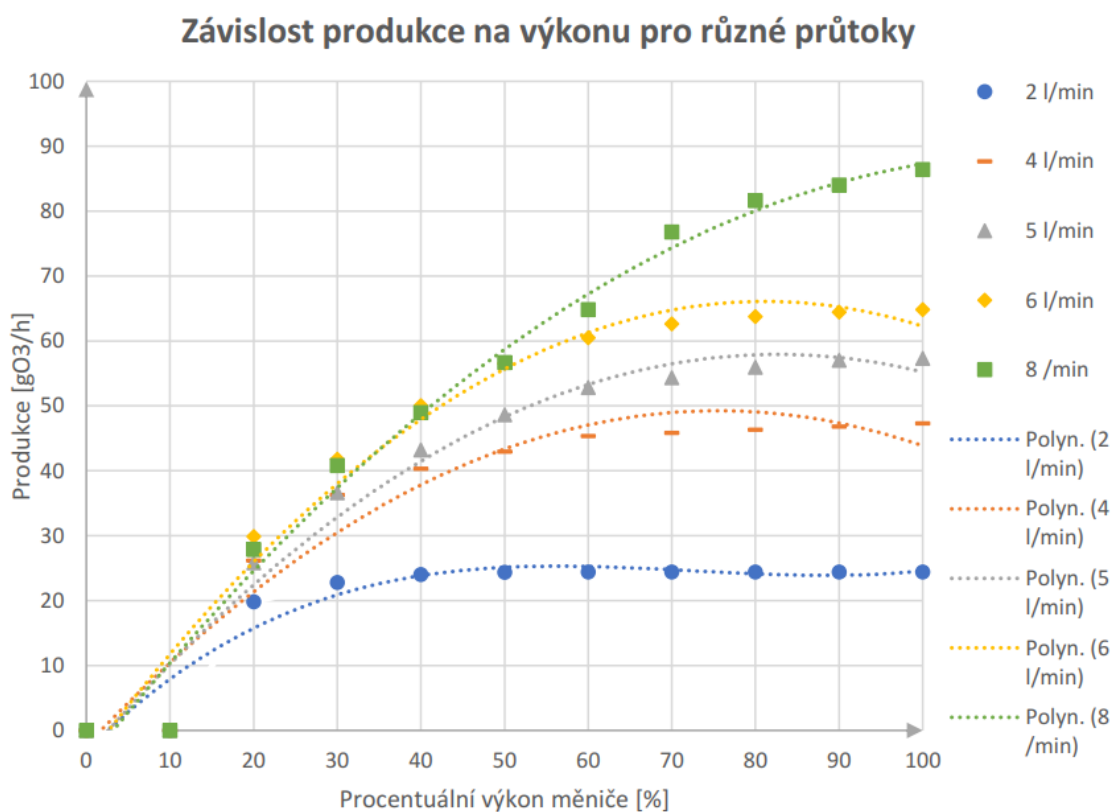
Na základě známé hodnoty koncentrace je pak možné vypočítat výslednou procentuální koncentraci aktivního kyslíku (hustota kyslíku je násobena 1 000 pro převod do základních jednotek SI – celý zlomek je pak dělen 100 pro převod do %):

$$\begin{aligned} Procentuální\ koncentrace\ O_3\ pro\ výkon=30\% &= \frac{\frac{Koncentrace}{\rho_{O_2} \cdot 1\,000}}{100} \\ &= \frac{\frac{85}{1,4093 \cdot 1\,000}}{100} \cong 5,9\ \% . \end{aligned} \quad [5]$$

Měření pak bylo provedeno pro několik průtoků (2, 4, 6, 8, 10 l/min). Výsledkem každého měření byly tabulky podobné té, co je uvedena výše. Naměřené a dopočítané hodnoty jsou zpracovány v grafu na obrázku 37. V tomto grafu je také zaznačena křivka pro 7 % koncentraci aktivního kyslíku. Na obrázku 35 je zobrazený vliv teploty na výslednou procentuální koncentraci. Nakonec je uveden i graf závislosti výsledné produkce aktivního kyslíku na výkonu měniče.

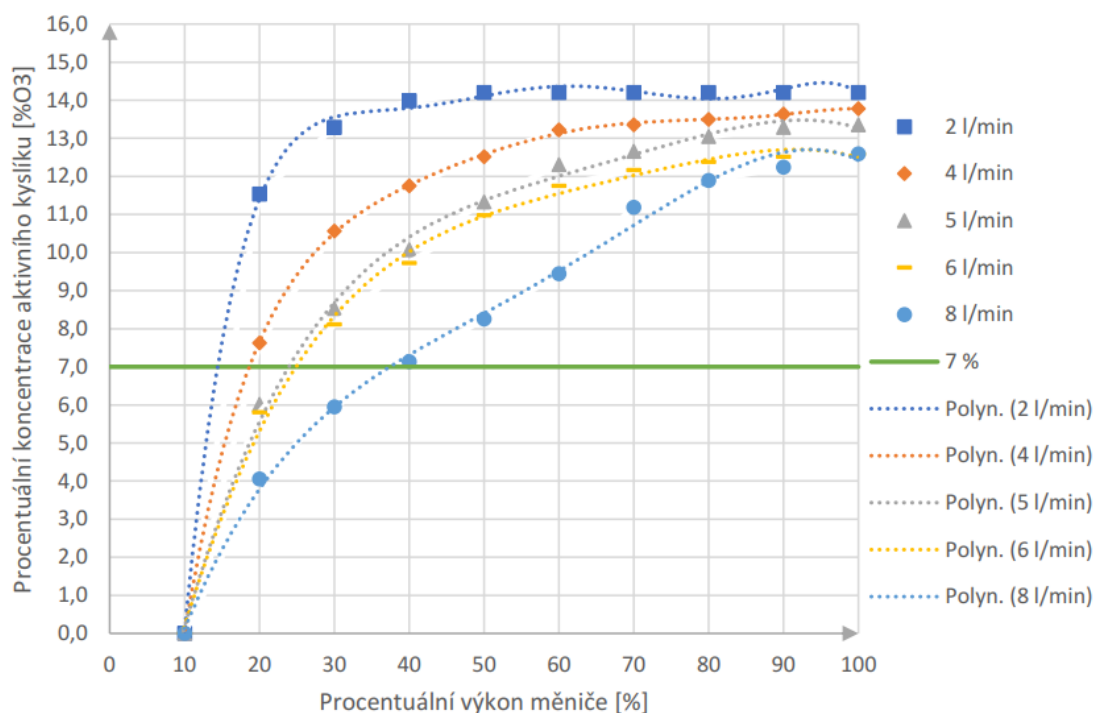


Obrázek 35: Graf procentuální koncentrace aktivního kyslíku pro různé průtoky.



Obrázek 36: Graf výsledné produkce pro různé průtoky.

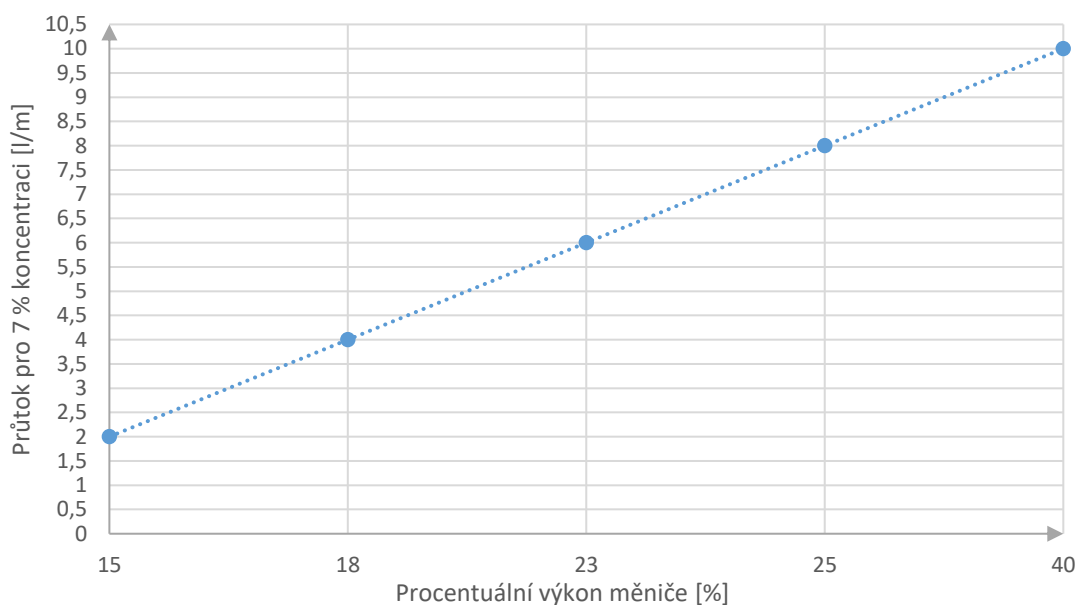
Závislost procentuální koncentrace O₃ na výkonu pro různé průtoky



Obrázek 37: Graf procentuální koncentrace aktivního kyslíku na výkonu pro různé průtoky (zeleně vyznačeno 7 %).

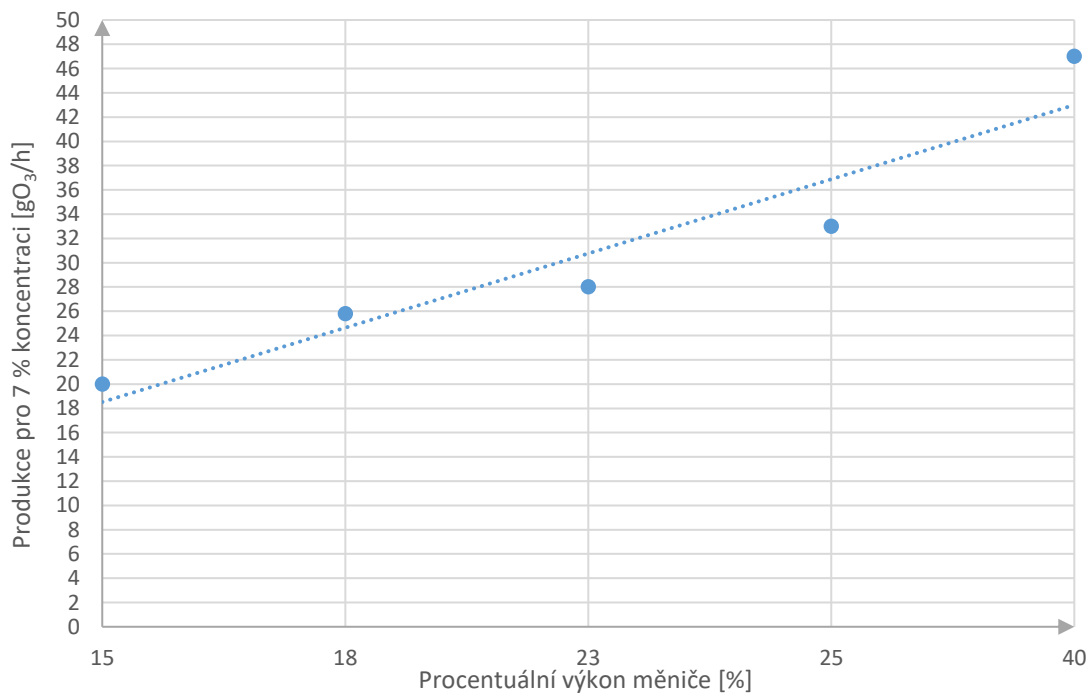
Z grafu výše vidíme závislost jednotlivých procentuálních koncentrací aktivního kyslíku na nastaveném výkonu při nastaveném konstantním průtoku. Jedním z cílů této práce je dosažení minimálních výrobních nákladů při produkci aktivního kyslíku, a proto jsou v grafu zásadní pouze ty body, které odpovídají 7 % koncentraci aktivního kyslíku. V každém z těchto bodů jsou pak známy hodnoty výkonů a odpovídajících produkcí. Na základě známých hodnot je možné sestavit regulační křivku (průtok, výkon a odpovídající produkce), a tu implementovat do navrhovaného regulačního systému. Výsledné regulační křivky lze vidět na obrázcích 38 a 39.

Závislost průtoku O_3 na výkonu pro 7 % koncentraci aktivního kyslíku



Obrázek 38: Graf výsledné regulační křivky průtoku pro 7 % koncentraci.

Závislost produkce na výkonu pro 7 % koncentraci O_3



Obrázek 39: Graf výsledné regulační křivky produkce pro 7 % koncentraci.

11 VOLBA ELEKTRONICKÉHO VENTILU

Pro regulaci průtoku kyslíku je nutné využít elektronického ventilu. V tomto případě bylo využito ventilu GF80 [33] od společnosti Brooks instrument. Elektronický ventil je velmi vyspělý. Jeho součástí je samotný regulační elektronický ventil spolu s průtokoměrem a ladící rozhraní Modbus, které lze využít pro komunikaci s obslužným softwarem. V tomto případě to však není zapotřebí, a proto nebudou dodatečné funkce detailněji vysvětleny.

Pro navržený design je zapotřebí obsluha elektronického ventilu. Ta je možná za pomoci analogových vstupů 0 až 5 V, případně 4 až 20 mA. Pro zajištění zpětné vazby je využito průtokoměru, který má také proudový případně napěťový výstup. Využitý elektronický ventil je kalibrován pro kyslík, a tak není třeba žádného přepočtu za pomoci korekčních faktorů. Příklad využitého elektronického ventilu je možné vidět na obrázku 40.



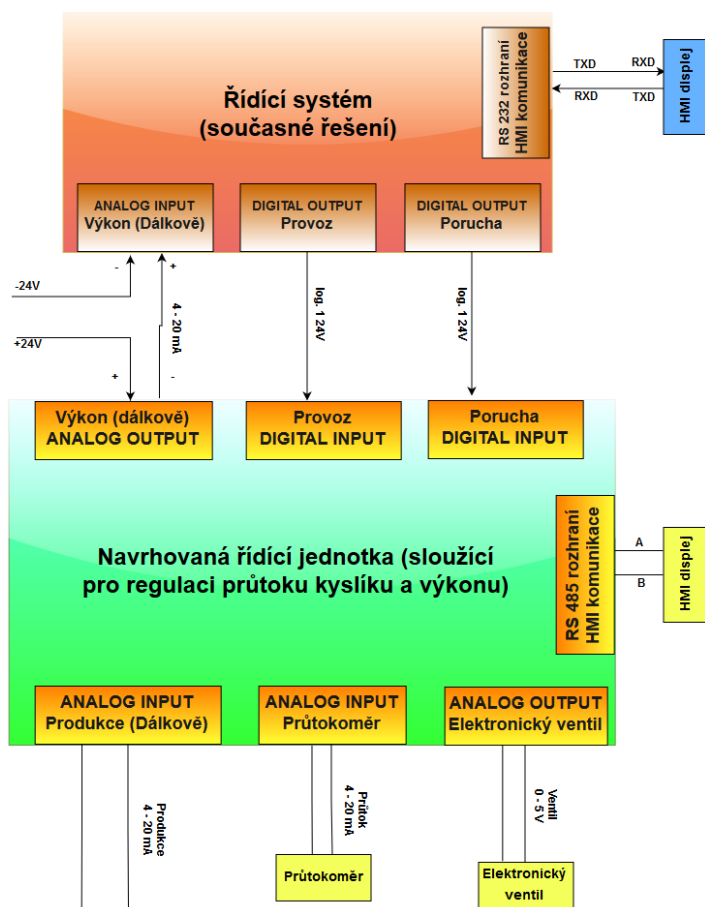
Obrázek 40: Ilustrační fotografie použitého elektronického ventilu GF80 [29].

12 NÁVRH ŘÍDÍCÍ DPS

Před návrhem řídicí jednotky sloužící pro regulaci průtoku kyslíku a nastaveného výkonu, bylo nutné provést analýzu současného řešení řízení.

Celý systém může pracovat ve 2 režimech, a to dálkově nebo lokálně. V případě lokálního nastavení je celé řízení řešeno pomocí HMI displeje. Je-li zvolen dálkový režim je možné systém dálkově zapnout, blokovat, a v případě nutnosti i otevřít ventily. Dálkové nastavení výkonu je realizováno vlastním vstupem. Dále je signalizován stav rozvaděče za pomoci kontrolky provoz a porucha.

Pro funkci navrhovaného systému postačí právě logické řídicí signály výkon, provoz, porucha, a také dálkový vstup pro nastavení výkonu. Stejně jako v současném zařízení i zde musí být možnost parametry nastavovat lokálně skrze HMI displej nebo dálkově, skrze dálkový vstup. Pro tyto účely je deska doplněna o analogový vstup sloužící pro nastavení produkce. Řízení průtoku kyslíku je realizováno pomocí dalšího výstupu (řízení elektronického ventilu) a pro kontrolní zpětnou vazbu měření reálného průtoku musí být deska vybavena dalším vstupem. Navrhovaná řídicí deska pak komunikuje s vybraným HMI displejem. Blokové schéma návrhu je možné vidět na obrázku 41. Dále je detailně popsáno zapojení navržené řídicí jednotky.



Obrázek 41: Blokové schéma zapojení.

Při každém návrhu řídicí jednotky je nutné zvážit počet digitálních a analogových vstupů a výstupů. Zároveň je vhodné znát počet komunikačních rozhraní. V tomto případě jsou požadovány 2 digitální vstupy, 2 analogové výstupy, 2 analogové vstupy a alespoň 2 komunikační rozhraní. Na základě těchto požadavků je proveden výběr mikrokontroleru. Jejich nabídka je velmi rozsáhlá, ovšem zvolen byl konkrétně jeden, a to ATXmega32A4U od společnosti Microchip technology (dříve Atmel). Mikroprocesor disponuje až 34 vstupně výstupními (I/O) piny a má velmi vyspělou výbavu. Je vybaven řadou 12 bitových A/D převodníků, jedním D/A převodníkem, až 7 časovači a řadou komunikačních rozhraní (výhodou je 2krát UART). Velikost paměti je 32 kB. Zajímavou vlastností je zabudovaný registr pro výpočet kontrolního součtu komunikace na datových sběrnicích. Součástí jsou také šifrovací funkce AES a další. Vybraný mikrokontroler je ve skutečnosti výkonově předimenzován, což umožňuje budoucí možnost případného rozšíření vstupů, výstupů či úpravy programu. V navazujících podkapitolách jsou pak popsány jednotlivé bloky schématu zapojení. Výsledné schéma zapojení je umístěno v přílohách.

12.1 Napájení řídicí desky plošného spoje

Pro napájení navrhované desky plošného spoje je využito napětí, které je k dispozici v průmyslovém rozvaděči. Ten je osazen 24V napájecím zdrojem od společnosti Meanwell, jehož maximální výkon je 120 W, což bez problému dostačuje (současná změřená spotřeba je přibližně 50 W). Dále je popsán postup návrhu snižujícího, tak zvaného step-down, DC-DC měniče, jehož parametry lze vidět v tabulce 10. Jako spínaný zdroj byl využit integrovaný obvod MC34063, který umožňuje různé modifikace zapojení. Zde byl využit právě režim step-down měniče. Při návrhu bylo využito vzorců uvedených výrobcem spínaného zdroje MC34063 [28]. Rovnice pro výpočet špičkového proudu, kapacity určující spínanou frekvenci a rezistoru omezujícího maximální proud obsahují tabulkové konstanty, které nejsou výrobcem nijak detailněji vysvětleny, a proto nejsou odvozeny. Případné objasnění využitých rovnic je k nalezení v uvedeném katalogu.

Tabulka 10: Požadované parametry DC-DC měniče

U_{in} [V]	24
Odchylka vstupní napětí [%]	± 10
U_{out} [V]	5
I_{out} [A]	0,75
Zvlnění V_{ripple} [mV]	50
Spínaná frekvence f [kHz]	90
U_{sat} [V]	1,1

Při návrhu je nejprve nutné určit poměr doby sepnutí ku době vypnutí tranzistoru, tak zvanou střidu. Tato doba je počítána dle vzorce

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_{out} + U_f}{U_{in(min)} - U_{sat} - U_{out}}, \quad [6]$$

kde: $\frac{t_{on}}{t_{off}}$ Poměr dob sepnutého a vypnutého tranzistoru,
 $U_{in(min)}$ Minimální vstupní napětí po odečtení odchylky,
 U_{sat} Saturační napětí (dáno obvodem MC34063),
 U_f Prahové napětí použité schottky diody.

Při návrhu bylo využito Schottkyho diody SS14 [34], jejíž typické prahové napětí je rovno 0,7 V. Po dosazení do vzorce získáme hodnotu střidy

$$\frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{U_{out} + U_f}{U_{in(min)} - U_{sat} - U_{out}} = \frac{5 + 0,7}{24 - (24 \cdot 0,1) - 1,1 - 5} \cong 0,368.$$

Celková perioda spínání zdroje je určena zvolenou spínanou frekvencí. Ta byla zvolena na 90 kHz. Platí pravidlo, že čím vyšší je tato hodnota tím nižší je potřebná hodnota indukčnosti výstupní tlumivky zdroje. Z těchto důvodů byla zvolena frekvence blížíící se maximální hodnotě, což ušetří místo na plošném spoji. Celková doba je tedy určena rovnicí

$$(t_{on} + t_{off}) = \frac{1}{f} = \frac{1}{90\,000} \cong 11,111 \mu s. \quad [7]$$

Z této hodnoty lze vypočítat dobu ve vypnutém stavu

$$t_{off} = \frac{(t_{on} + t_{off})}{\frac{t_{on}}{t_{off}} + 1} = \frac{11,111 \cdot 10^{-6}}{0,368 + 1} \cong 8,124 \mu s, \quad [8]$$

a v zapnutém stavu

$$t_{on} = (t_{on} + t_{off}) - t_{off} = 11,111 \cdot 10^{-6} - 8,124 \cdot 10^{-6} \cong 2,988 \mu s. \quad [9]$$

Dále je nutné vypočítat kapacitu, která určuje spínací frekvenci. (Skutečné hodnoty použitých součástek jsou voleny z hodnot výrobních řad.)

$$C = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{on} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 2,988 \cdot 10^{-6} \cong 119,5 \text{ pf}, \quad [10]$$

=> zvoleno z řady 120 pF.

Špičkový proud, který je omezen rezistorem R_{sc} je roven

$$I_{pk(switch)} = 2 \cdot I_{out} = 2 \cdot 0,75 = 1,5 \text{ A}, \quad [11]$$

a hodnota zmíněného rezistoru, díky kterému je realizována proudová ochrana, je

$$R_{sc} = \frac{0,3}{I_{pk(switch)}} = \frac{0,3}{1,5} = 0,2 \text{ } \Omega, \quad [12]$$

=> zvoleno z řady 0,22 Ω .

Minimální hodnota cívky je rovna

$$L_{min} = \left(\frac{U_{in(min)} - U_{sat} - U_{out}}{I_{pk(switch)}} \right) \cdot t_{on} = \left(\frac{24 - (24 \cdot 0,1) - 1,1 - 5}{1,5} \right) \cdot 2,988 \cdot 10^{-6} \cong 30,87 \text{ } \mu\text{H}, \quad [13]$$

=> zvoleno z řady 220 μH .

je však vhodné zvolit vyšší hodnotu, v návrhu konkrétně 220 μH . Minimální hodnota výstupní kapacity je

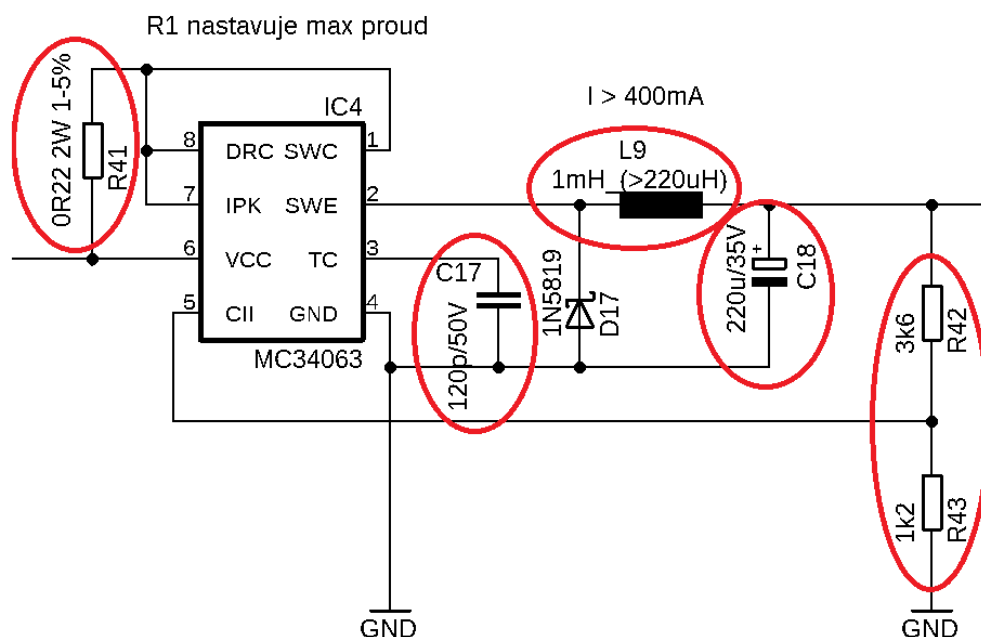
$$C_{o_min} = \frac{I_{pk(switch)} \cdot (t_{on} + t_{off})}{8 \cdot V_{ripple}} = \frac{1,5 \cdot 11,111 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} \cong 41,67 \text{ } \mu\text{F}, \quad [14]$$

=> zvoleno z řady 220 μF .

Výstupní napětí DC-DC měniče je určeno poměrem odporového děliče. Jeden z rezistorů je nutné zvolit ($R_{1_zvol} = 1 \text{ } 200 \text{ } \Omega$), druhý je určen vztahem

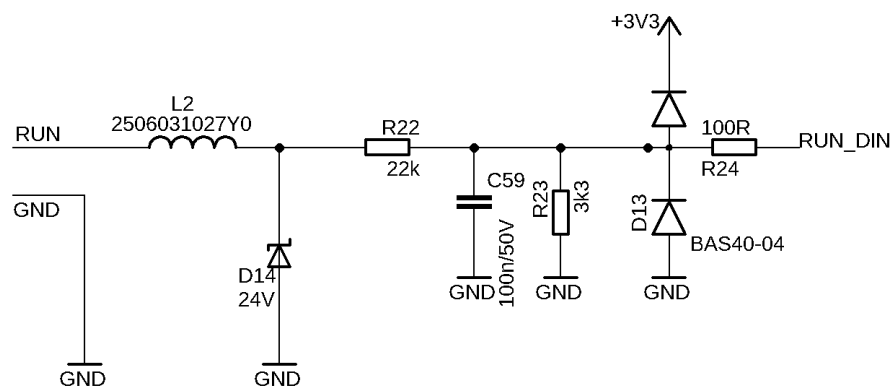
$$R_2 = R_{1_zvol} \cdot \left(\frac{U_{out}}{1,25} - 1 \right) = 1 \text{ } 200 \cdot \left(\frac{5}{1,25} - 1 \right) = 3 \text{ } 600 \text{ } \Omega. \quad [15]$$

Z návrhu je patrná dostatečná kompenzace výkonové stability zdroje, která je určena především zvolenou indukčností a kapacitou (až 4x vyšší než doporučené minimální hodnoty z výpočtů). Maximální proud zdroje je 750 mA. Navržený zdroj je však schopný dodat i 1 A. Při výběru součástek je nutné brát v úvahu špičkové proudové odběry až 1,5 A (dvojnásobek jmenovité maximální hodnoty), a na tuto hodnotu patřičně dimenzovat všechny komponenty zdroje. Při vyšším proudu dochází k mírnému poklesu výstupního napětí. Proto je také napájení mikrokontroleru řešeno dodatečným 3,3V stabilizátorem, který zaručuje stabilitu tohoto napájení při jakémkoliv zatížení spínaného zdroje. Do návrhu bylo zakomponováno dostatečné množství filtračních kapacit z důvodu průmyslové aplikace, tedy vyšší úrovně okolního rušení. Schéma navrženého zdroje je možné vidět na obrázku 42. V uvedeném schématu jsou také vyznačeny všechny součástky, které byly počítány za pomoci rovnic výše.



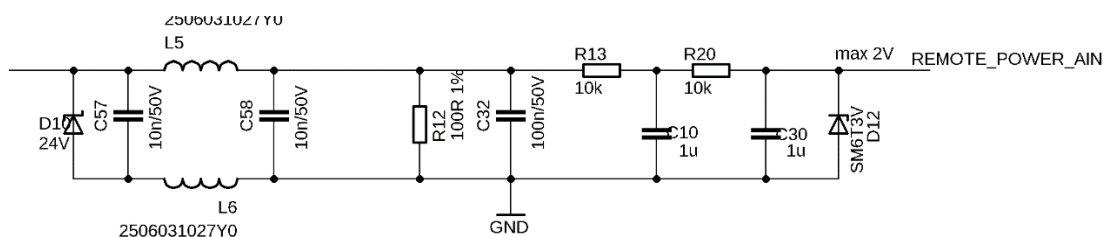
12.2 Digitální vstupy

Návrh digitálních vstupů se skládá z RC filtru a odporového děliče. Výstupní napětí je tedy 3,3 V. Logická úroveň vstupního napětí je rovna 24 V. Navržené vstupy dále obsahují diodové ochrany proti případným rušivým vlivům.



12.3 Analogové vstupy

V tomto případě je zapotřebí alespoň dvou analogových vstupů. Oba analogové vstupy jsou dimenzovány na proudovou smyčku 4 až 20 mA. Vstupní proud je usměrněn (není nutné dbát na polaritu zapojení vstupů), a následně je provedena filtrace za pomoci LC filtru. Vyfiltrovaný proud je převeden na napětí skrze 100 ohmový rezistor s 1% tolerancí. Výstupní napětí (0,4 V až 2 V) je opět vyfiltrováno a převedeno A/D převodníkem. Referenční hodnota A/D převodníku je zvolena 2,0625 V a napětí na vstupu tohoto A/D převodníku tak nesmí být vyšší, což je se zvoleným rezistorem a ochrannými prvky zajištěno. Výstupní hodnota průtokoměru může být ve formě proudové smyčky nebo napětí, a proto je jeden z těchto vstupů přizpůsoben pro tyto účely. Napětí nastavené průtokoměrem je vyfiltrováno a přivedeno na odporový dělič, kde je vstupní napětí upraveno na rozsah 0 až 2 V. Následně je toto napětí vzorkováno A/D převodníkem. Je důležité podotknout, že ani jeden z analogových vstupů není galvanicky oddělen (bylo zvažováno, ale nakonec zavrhnuto). V případě potřeby galvanického oddělení je nutné využít externího modulu.



Obrázek 44: Schéma zapojení navržených analogových vstupů. (zapojení zjednodušeno)

12.4 Analogové výstupy

Opět je třeba alespoň dvojice těchto výstupů, kde jeden z nich obstarává otevření elektronického ventilu, a druhý je určen pro účely nastavení výkonu jiskřiště. Oba analogové výstupy jsou ještě na digitální straně galvanicky odděleny pomocí integrovaného obvodu ADUM1250 [35]. Na galvanický izolátor navazuje A/D převodník, který nastavuje hodnotu napětí na vstupu integrovaného obvodu XTR115 [36]. Integrovaný obvod MCP4725 [37] na výstupu funguje jako budič proudové smyčky podle vstupní úrovně analogového proudu vtékající do pinu IN. Samotná smyčka je napájena vlastním napětím 24 V. Pro případ analogového výstupu ve formě napětí je tento budič neosazen a výstup z D/A převodníku je na svorkovnici přiveden skrze 0 Ω rezistor. Vzhledem k tomu, že výstupní proudová smyčka je 4 až 20 mA, je nutné navrhnout odporový předřadník omezující proud z napěťového výstupu D/A převodníku na odpovídající hodnotu budiče linky. Pro posunutí úrovně z 0 A na požadované 4 mA při

minimální úrovni slouží odporový dělič z napěťového referenčního výstupu budiče. Kombinace předradníku a děliče se skládá z rezistorů R_1 , R_2 a R_3 .

Interní reference budiče XTR115 zajišťuje dostatečně přesné a stabilní referenční napětí 2,5 V. Toto napětí je přivedeno na rezistory R_2 a R_3 . Velikost těchto odporů musí být vypočtena tak, aby došlo k nastavení minimálního proudu proudové smyčky. Proud přitékající do pinu IN je pak 100krát zesílen na úroveň na výstupu, a proto je nutné toto zesílení při výpočtu uvážit

$$R_2 + R_3 = \frac{U_{ref}}{I_{smyč_min}} \cdot 100 = \frac{2,5}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 62\,500\, \Omega, \quad [16]$$

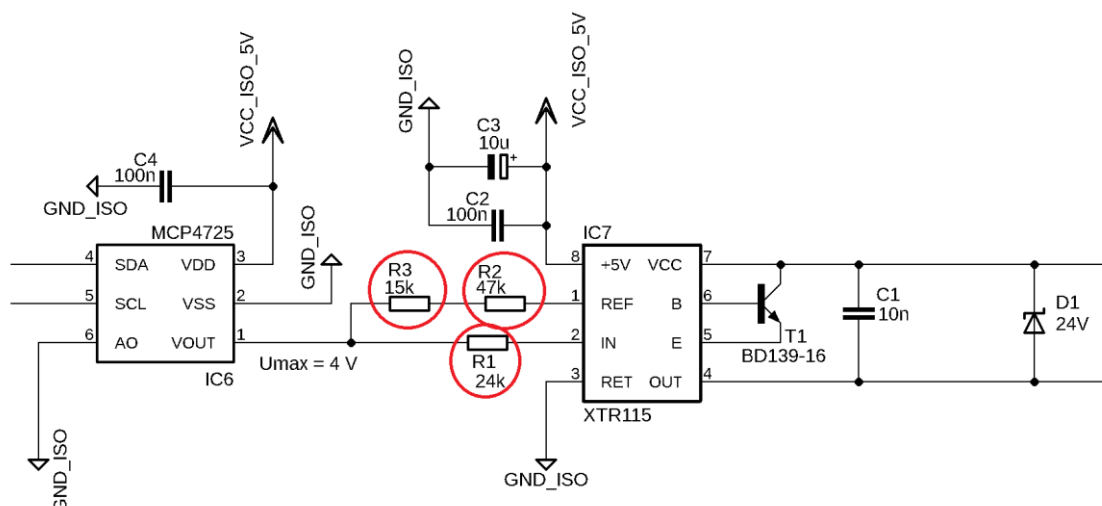
=> R_2 zvoleno z řady 15 000 Ω ,

=> R_3 zvoleno z řady 47 000 Ω .

Rezistorem R_1 (někdy označován jako R_{in}) musí protékat zbylý proud nastavovaný A/D převodníkem MCP4725. Výstupní napětí tohoto převodníku je v rozsahu 0 až 5 V (referenční hodnota odpovídá napájecímu napětí V_{CC}). Z důvodu rezervy je bráno maximální napětí 4 V. Proud protékající rezistorem je roven rozdílu maximálního proudu smyčky a přednastaveného proudu přitékající z reference integrovaného obvodu XTR115. Rezistor R_{72} lze vypočítat podle následujícího vztahu

$$R_1 = \frac{U_{max}}{I_{smyč_max} - I_{ref}} = \frac{4}{20 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 25\,000\, \Omega, \quad [17]$$

=> zvoleno z řady 24 900 Ω .



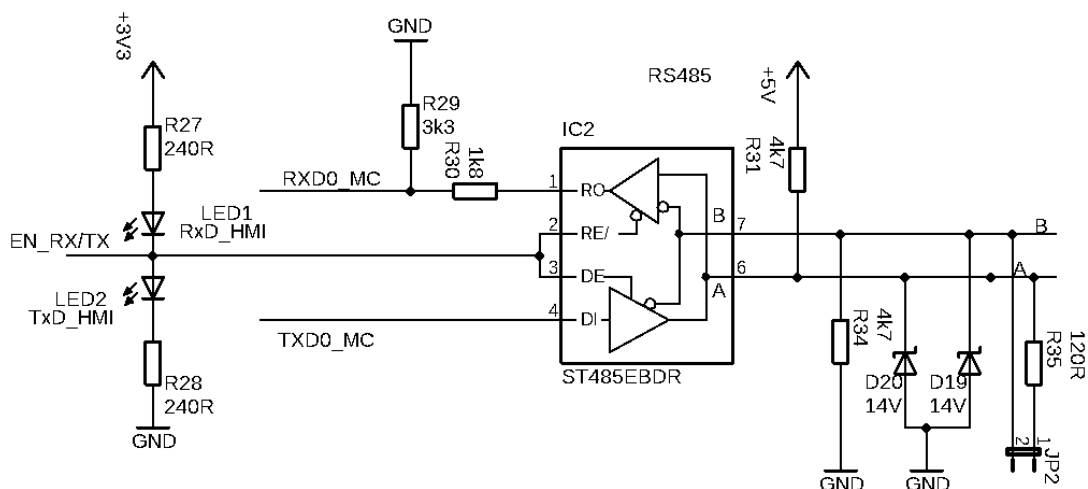
Obrázek 45: Zjednodušené schéma zapojení navržených analogových výstupů.

Při následném testování a oživení byla zjištěna chyba v zapojení. Ta se týká rezistoru R1, který je nutné přesunout mezi vstup A/D převodníku a uzel odporů napojených na referenci. Dále vznikla chyba zkopírováním celého bloku pro oba výstupy. Adresu A/D převodníků totiž nelze nastavit softwarově, a proto je nutné jednomu z A/D převodníků upravit adresu přivedením logické 1 na pin A0. Po provedení dodatečných úprav již bylo vše v pořádku a výstupy pracují dle očekávání.

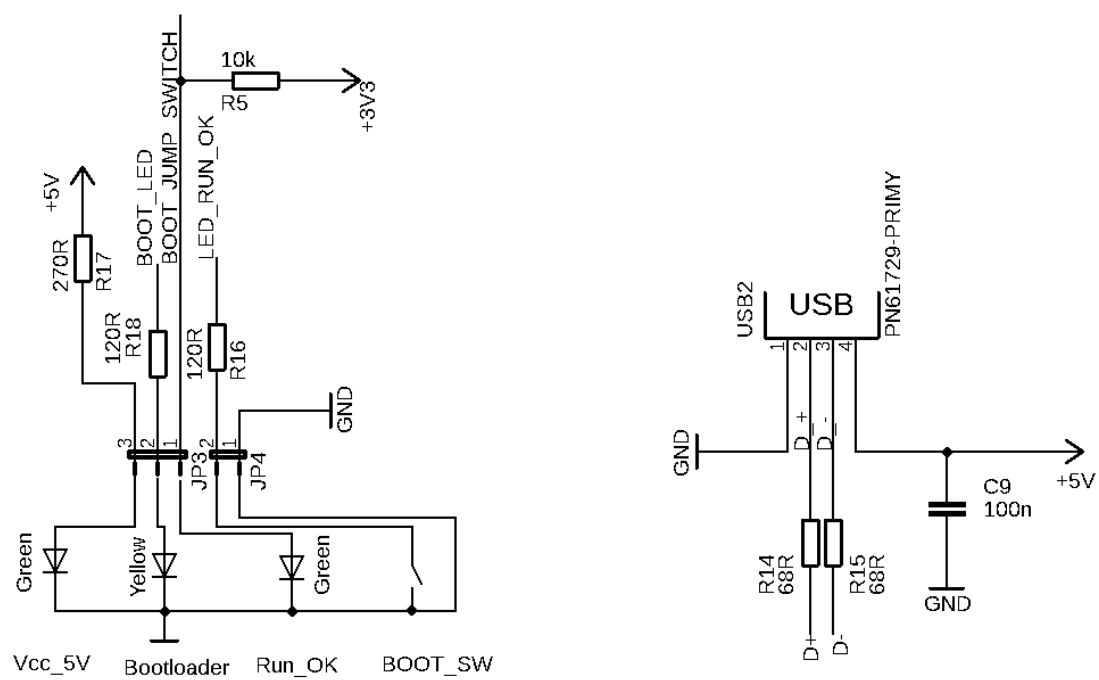
12.5 Další periferie

Pro komunikaci s HMI displejem je nutný převodník na příslušné rozhraní. Vzhledem k tomu, že navržená deska plošného spoje je určena pro průmyslové aplikace, je jako komunikační rozhraní vybrán standard RS-485. Pro případ externí komunikace se zákazníkem byl celý blok duplikován a je napojen na druhé UART rozhraní mikrokontroleru. Výhodou použitého mikrokontroleru je také takzvaný bootloader, který by měl umožňovat jednoduché přehrání firmwaru. Zákazníkovi je pak možné zaslat novou verzi elektronicky, a ten jej pomocí bootloaderu skrze rozhraní USB připojené kabelem k PC nahraje do řídicí desky plošného spoje. Tato technologie ale vyžaduje vyšší míru programového zabezpečení proti nahrávání případných neoriginálních kopií produktu (zabránění krádeže firemního tajemství). Více tato problematika nebude rozebírána.

Pro lepší orientaci stavů řídicí desky plošného spoje jsou doplněny signalizační LED spolu s tlačítkem pro přechod do bootloaderu. Zapojení lze vidět na obrázcích 46 a 47.



Obrázek 46: Schéma zapojení navržených periférií pro komunikaci s HMI displejem.



Obrázek 47: Schéma rozhraní zapojení bootloaderu přes sběrnici USB a signalizačních LED.

13 NÁVRH SOFTWARE PRO ŘÍDÍCÍ DPS

Navržený software se skládá z několika knihoven, které jsou v této kapitole objasněny.

V návrhu je využito několik převodníků napětí z digitálního čísla na analogovou úroveň. Tyto D/A převodníky komunikují s nadřazeným mikrokontrolerem po sběrnici I²C a pro její obsluhu byla vytvořena knihovna nazvána I2C.c. Jejím obsahem je funkce pro volbu výstupní hodnoty napětí převodníků MCP4725, (analogové výstupy elektronického ventilu a řízení výkonu jiskřiště). Zvolené D/A převodníky mají integrovanou EEPROM paměť, do které je zapsána požadovaná hodnota. Zápis se provádí vždy při požadavku na změnu produkce, případně výkonu. Funkce pro čtení D/A převodníku není implementována (není zapotřebí). Knihovna taktéž obsahuje funkci pro inicializaci I²C rozhraní.

Skutečná hodnota nastaveného průtoku a produkce je měřením převedena na podobu analogových napěťových úrovní. Je proto nutné implementovat knihovnu pro obsluhu A/D interních převodníků, které jsou obsaženy v mikrokontroleru. Tato knihovna je nazvána adc.c. V knihovně je obsažena funkce pro inicializaci A/D převodníku. Jako referenční zdroj napětí je zvoleno napájecí napětí vydělené hodnotou 1,6, což odpovídá úrovni 2,0625 V. Další funkce slouží pro převod vzorkovaného napětí na digitální hodnotu na vybraném kanálu převodníku. Výsledná digitální hodnota není nikdy dlouhodobě konstantní, a proto bylo do této funkce zahrnuto průměrování z 20 vzorků.

Při jakékoliv změně produkce, výkonu, případně průtoku, je zapotřebí dát vědět o této změně HMI displeji, potažmo obsluze. Zároveň je třeba provést příslušnou regulační změnu hodnoty průtoku a výkonu nastavením D/A převodníků. Za účelem regulace byla vyvinuta knihovna nazvána ctrl_board.c. Tato knihovna obsahuje několik funkcí pro obsluhujících regulaci.

V neposlední řadě je zapotřebí knihoven pro komunikaci s HMI displejem. Vybraný HMI displej komunikuje přes protokol Modbus, a proto je tento standard implementován. Obsluha HMI displeje je realizována knihovnami crc.c, mb_rtu.c, usart.c a timer.c.

Knihovna crc.c obsahuje funkci pro výpočet kontrolního součtu Modbus protokolu. Kontrolní součet je počítán ze všech příchozích bytů.

Role mastera byla zvolena pro HMI displej, a proto je nutné vytvořit funkci pro zpracování dat a následnou odpověď. To je obsaženo v knihovně mb_rtu.c. Pro účely implementace je vhodné znát počet interních holding registrů s hodnotami parametrů mastera (HMI displej). Důležitá je také tvorba odpovědí, která je vždy odlišná a závisí na dotazu příslušné Modbus funkce. V tomto případě se odpověď tvoří na kód funkce 2, 3, 6 a 16 (viz kapitola 14). Při zpracování příchozí zprávy je rozlišováno, na který holding registr se dotaz vztahuje, a v případě nutnosti zápisu do EEPROM paměti je vyvolána funkce pro uložení. Některé holding registry jsou určeny pouze pro čtení, jiné i pro zápis. Přehled holding registrů lze vidět v tabulce 11. Knihovna mb_rtu.c taktéž obsahuje funkci pro detekci chybné odpovědi (špatný kontrolní součet, špatná data a další).

Další z knihoven, která souvisí s Modbus protokolem se nazývá `usart.c`. Tato knihovna obsluhuje příjem a odesílání dat po převodu z rozhraní RS-485. Jako u většiny periférií je i v tomto případě potřebná její inicializace. Nastavení komunikace je na 8 datových bitů, 1 stop bit a 1 paritní bit. Baudrate je nastaven na 9600. Příchozí data jsou ihned zpracována (vyvoláno přerušení) a následně uložena do bufferu. Po přijetí dat se očekává ukončení příchozí zprávy v podobě časové prodlevy o délce alespoň 3,5 znaku (popsáno níže v knihovně `timeru`). Jakmile je znám konec zprávy dojde k vytvoření odpovědi (uložením dat do odesílacího bufferu) a následného odeslání jednotlivých bytů. Počet odeslaných bytů je závislý na dotazu Modbus funkce. Důležité je také dodržet maximální dobu mezi odeslanými či přijatými byty. Tato doba je rovna 1,5 znaku a je obsluhována přerušením timeru 0 v knihovně `usart.c`.

Při zpracování zprávy a následné odpovědi je nezbytné časování, které je specifikováno Modbus protokolem. Časování je realizováno knihovnou `timer.c`. V návrhu je využíváno formátu zprávy Modbus RTU, kde jsou důležité 2 doby a to 3,5 znaku a 1,5 znaku. Doba 3,5 znaku je využívána pro indikaci konce zprávy. 1,5 znaku je pak maximální doba, která musí být dodržena mezi jednotlivými bajty. Dále je uveden výpočet doby 3,5 znaku a 1,5 znaku.

Každé rozhraní UART má svoji specifickou rychlost. V tomto případě byla nastavena na 9600 b/s. Pro výpočet je však nutné znát dobu přenosu jednoho bitu. Ta je vypočítána na základě rovnice

$$t_{1 \text{ bitu}} = \frac{1}{\text{Baudrate}} = \frac{1}{9\,600} \cong 0,1042 \cdot 10^{-4} \text{ s} \approx 0,1042 \text{ ms.} \quad [18]$$

Celkový počet přenesených bitů je pak roven 11 (start bit, $8 \times$ data bit, stop bit, paritní bit). Výsledná doba odeslání/zpracování jednoho bytu je

$$t_{1 \text{ znak}} = \text{počet bitů} \cdot t_{1 \text{ bitu}} = 11 \cdot 0,1042 \cdot 10^{-4} \cong 1,1458 \text{ ms.} \quad [19]$$

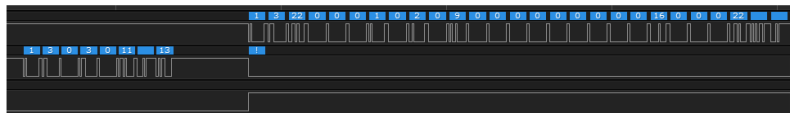
V Modbus protokolu je však specifikováno 3,5 znaku, proto je doba 1 znaku upravena na půl znaku. Doba půl znaku je rovna polovině doby jednoho znaku

$$t_{\frac{1}{2} \text{ znaku}} = \frac{t_{1 \text{ znak}}}{2} = \frac{1,1458 \cdot 10^{-3}}{2} \cong 572,92 \text{ } \mu\text{s.} \quad [20]$$

Doba přerušení timeru 0 je proto zvolena tak, aby došlo k přetečení za dobu 572 μ s. Celková doba 3,5 znaku je pak rovna sedminásobku zvolené doby. Doba 1,5 znaku je rovna třínásobku. Při implementaci bylo využito i timeru 1 pro indikaci provozu. Dále jsou v knihovně obsaženy obslužné funkce pro start časovačů, reset timerů a jejich zastavení.

Poslední a asi nejzásadnější knihovna je pak hlavní tělo programu main.c. Tato knihovna využívá všech výše zmíněných knihoven. Na začátku programu je nastaveno časování mikrokontroleru na 32 MHz. Následně jsou volány inicializační funkce jednotlivých periférií. Dále již pokračuje samotná smyčka programu, kde je procházeno stavovým automatem. Celkem bylo zapotřebí 4 stavů: vypnuto, proplach, produkce, chyba. Také je zde vždy volána funkce pro odeslání Modbus zprávy, která je přichystána v bufferu. Níže lze vidět obrázek, ilustrující princip Modbus spolu s I²C komunikační sběrnici. Jednotlivé zprávy byly zachyceny za pomoci dataloggeru.

**Příklad
zpracování modbus
zprávy**



**Příklad nastavení
elektronického ventilu**



Příklad nastavení výkonu



Obrázek 48: Zachycené reálné zprávy komunikace I²C sběrnice a Modbus protokolu.

14 NÁVRH SOFTWARE PRO HMI DISPLEJ

Samotný software pro HMI displej se skládá z grafiky a několika holding registrů, které mají příslušnou adresu. Dále bylo zapotřebí vytvořit několik maker, které doplňují funkci HMI displeje.

V první řadě byla nakreslena grafika, která je využita pro samotné zobrazování. Jednotlivé obrázky pak byly nahrány do projektu pro HMI displej.

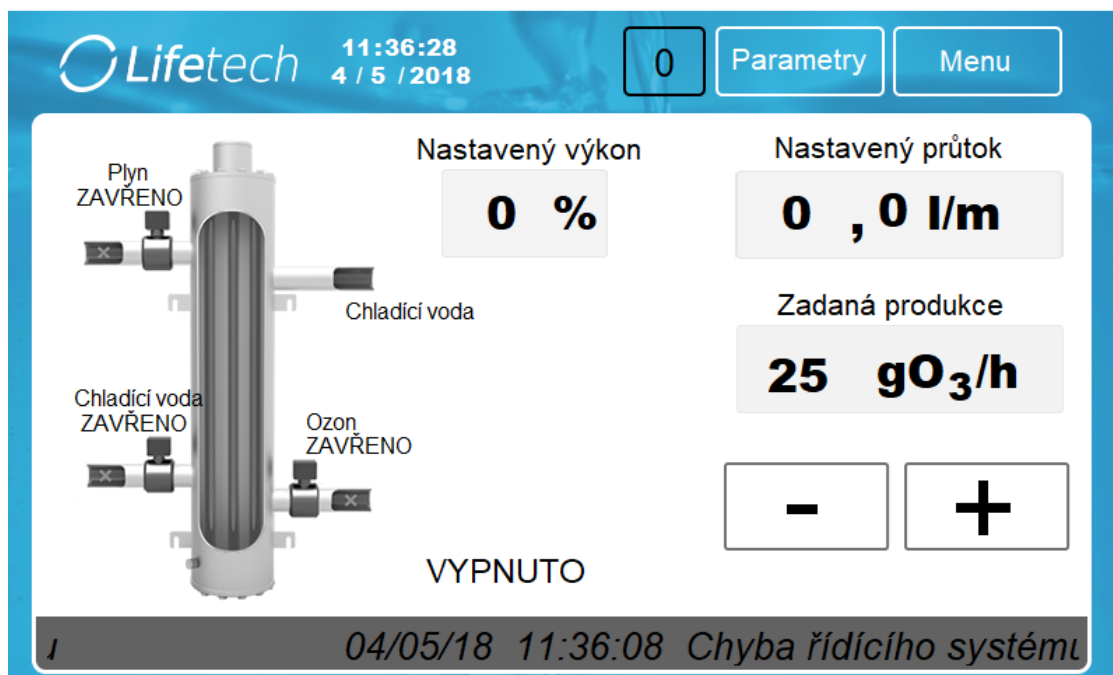
Zásadnější však bylo navrhnout samotné holding registry, spolu s jejich počtem. Návrh se skládá z 12 obrazovek. Nejdůležitější z nich je obrazovka, na niž je možné nalézt hodnotu holding registru 3, signalizující stav zařízení (zapnuto, vypnuto, proplach, chyba). Tento holding registr je odkázaný na více prvků (stavový obrázek, stavový text a popisné texty). Dále je na této obrazovce také vyobrazena hodnota registrů 5 a 6 oznamujících nastavený průtok. Holding registr 11 obsahuje informaci o nastaveném výkonu. Za pomoci holding registru 12 nebo 13 je pak zadávána produkce (12 v případě lokálního ovládání, 13 v případě dálkového ovládání). V případě lokálního zadávání se produkce nastavuje pomocí softwarových tlačítek + a -. Ta je možná nastavit i za pomoci klávesnice (dotykem na zobrazovanou hodnotu). Z této obrazovky se lze za pomoci dalších tlačítek dostat do oken „Menu“ nebo „Parametry“. V okně parametrů je volen zdroj nastavování parametrů produkce (lokálně – HMI nebo dálkově – analog vstup).

Po vstupu do Menu se dá změnit nastavení jazykové lokalizace, případně zobrazit alarmy (indikovaná chybová hlášení). Po vyřešení chyby je změněna barva podsvícení. Po uplynutí doby 5 minut je tato chyba úplně vymazána. Dále je možné se z tohoto okna přihlásit do servisního režimu. Tato volba je vytvořena pouze pro účely servisu daného zařízení případně pro testování funkčnosti elektronického ventilu. Je zde také možnost přistoupit k logům (tlačítko Logy) nebo k ručnímu nastavení zařízení (tlačítko Nastavení).

Okno Logy slouží pro zobrazení historie výkonu v grafu, případně záznamu chyb. Tato volba je zde především z důvodu zobrazení všech chyb, které nastaly v průběhu historie chodu zařízení. Všechny logy je možné si zálohovat na USB disk za pomoci tlačítka Power data to backup USB.

Okno Nastavení pak slouží pro manuální regulaci výkonu a průtoku nezávisle na výsledné produkci a efektivitě výroby aktivního kyslíku. Na tomto okně jsou zobrazeny také zbývající parametry v holding registrech.

Příklady navržené grafiky lze vidět na následujících obrázcích.



Obrázek 49: Výsledná hlavní obrazovka na HMI displeji.



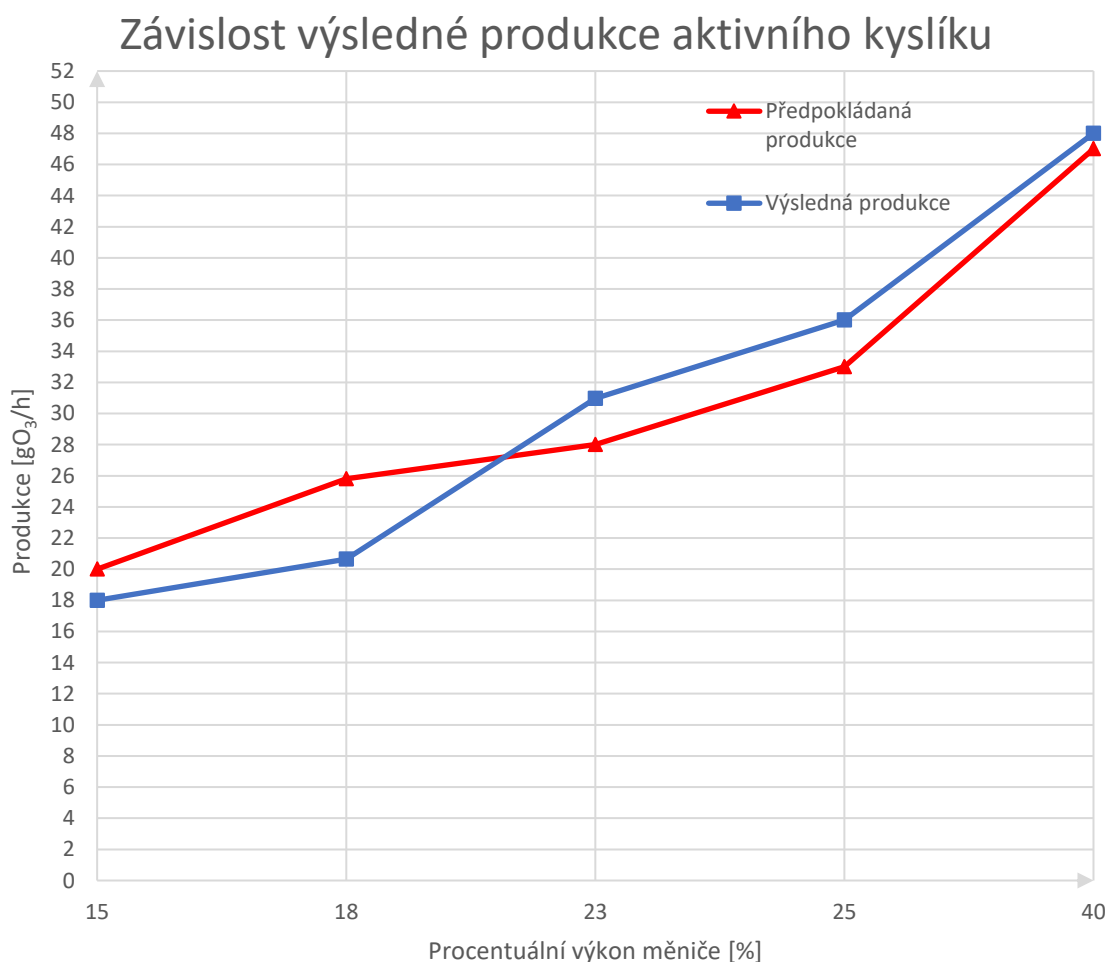
Obrázek 50: Výsledná obrazovka Servisního menu Nastavení.

Tabulka 11: Přehled implementovaných holding registrů.

Název holding registru	Práva	EEPROM	Hodnota	Zvolená adresa holding registr
volba režimu regulace	R/W	ukládat	0/1	40 000
volba produkce	R/W	ukládat	0/1	40 001
vypnuto (stav)	R		0	40 003
proplach (stav)	R		1	40 003
produkce (stav)	R		2	40 003
chyba (stav)	R		3	40 003
chyba hlavního řídicího systému (stav)	R	ukládat	0/1	40 004
nastavený průtok HI (před des. teč.)	R	aktuální	16 bit	40 005
nastavený průtok LO (za des. teč.)	R	aktuální	16 bit	40 006
nastavený výkon	R	aktuální	16 bit	40 011
zadaná produkce dálková	R	aktuální	16 bit	40 012
zadaná produkce lokální	R/W	ukládat	16 bit	40 013
nastavený výkon servis	R/W	ukládat	16 bit	40 014
nastavený průtok HI servis	R/W	ukládat	16 bit	40 015
nastavený průtok LO servis	R/W	ukládat	16 bit	40 016

15 KONTROLA DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Na závěr každého designu je nutné ověřit správnost dosažených výsledků. V tomto případě bylo provedeno další měření s již zaimplementovanou navrženou deskou plošného spoje. Pro testování bylo využito zařízení zobrazené na obrázku 33, které je možné vidět výše na straně 47. Následně byla proměřena charakteristika výsledné koncentrace. Změřená koncentrace je přepočítána na produkci za využití rovnic uvedených výše. Srovnání dosažených výsledků je uvedeno v grafu na obrázku 51. Odlišnosti mohly být způsobeny chybným odečtením výsledné hodnoty koncentrace (dlouhá doba ustálení), případně změnou teploty systému po ohřátí chladicí vody (chladicí jednotka reguluje teplotu s poměrně velkou hysterezí). Implementované regulační křivky však přibližně odpovídají předpokladům stanovených při samotném návrhu.



Obrázek 51: Výsledná změřená charakteristika produkce v porovnání s předpokládanou charakteristikou.

16 ZÁVĚR

Cílovým úkolem projektu je návrh a konstrukce řídicí jednotky. Tato řídicí jednotka má za úkol obsluhu HMI displeje, který slouží pro interakci s obsluhou. Po spárování řídicí jednotky s HMI je pak navržena jednotka osazena do rozvaděče zařízení, jehož úkolem je výroba aktivního kyslíku. Návrh řídicí jednotky musí zohlednit efektivitu výroby aktivního kyslíku a minimalizovat tím výrobní náklady.

První část práce se zabývá trendy v oblasti v HMI, kde je snahou poukázat na vyspělost těchto technologií a předvést tak výhody využití HMI v průmyslových zařízeních.

Následuje popis konstrukčních bloků technologie HMI, kterými jsou zobrazovací zařízení, dotyková ovládací vrstva a komunikační rozhraní.

V úvodní části této práce lze také nalézt základní informace z oblasti dezinfekce vody potažmo předmětů. Navrhovaný rozvaděč slouží totiž právě pro zařízení určené k dezinfekci za pomoci aktivního kyslíku (například aplikace v bazénovém průmyslu).

Další část je věnována již samotnému návrhu. Cílem zde bylo zdokumentovat současnou nabídku komerčně dostupných HMI. Na základě těchto poznatků byl vybrán model MT6070ip od společnosti Weintek. Zásadním hlediskem výběru bylo zaručení vhodného rozhraní pro komunikaci s mikrokontrolerem. Jako vhodné řešení se ukázalo rozhraní RS-485 s komunikačním protokolem Modbus.

V další části práce je představen rozvaděč, na který je aplikována navržená řídicí jednotka pro regulaci výkonu a produkce. Zároveň je snahou objasnit důvody pro tuto regulaci. Zásadní částí jsou tabulky změřených hodnot produkcí společně s dalšími parametry. Z nich jsou pak vypracovány přehledné grafy sloužící pro znázornění funkce regulace a samotného rozvaděče. Na základě změřených dat bylo možné zkonstruovat regulační křivky, které lze také nalézt v této části, a které následně byly využity při návrhu softwaru.

Navazující část práce se zabývá samotným návrhem řídicí elektroniky. Výsledný návrh je pak rozložen do několika částí, v kterých jsou popsány bloky navrženého schématu.

V předposlední části práce je pak popsán obslužný software pro navrženou desku plošného spoje, ale také pro vybraný HMI displej.

V závěru práce je ověřena funkce výsledného návrhu obslužného softwaru pro HMI displej a řídicí desku. Zároveň je ověřena implementace regulační křivky. Ze změřených dosažených výsledků lze říci, že návrh odpovídá požadované regulační křivce, a proto nebylo nutné provádět žádné další korekční úpravy.

LITERATURA

- [1] Dezinfekce. sterilizace. *Masarykova univerzita* [online]. Muni.cz, 2016 [cit. 2018-5-6]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1411/jaro2016/BLHL061p/um/Dezinfekce__sterilizace_Jaro_2016.pdf
- [2] Science direct. *Elsevier* [online]. Elsevier, 2015 [cit. 2018-5-6]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304388614001272>
- [3] Complex Plasmas Summer Institute. *Saint Peters College* [online]. *Saint Peters College*, 2008 [cit. 2018-5-6]. Dostupné z: <https://www.stpeters.sa.edu.au/#>
- [4] Řízení a údržba průmyslového podniku. *Řízení a údržba průmyslového podniku* [online]. Augsburg, Německo: Kontron, 2014 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/hmi-prispiva-ke-zvyseni-vykonnosti-podniku/>.
- [5] Toyota, která si chce povídat, hyundai jako kus obývacího. Automobilky perli na elektronickém veletrhu. *Hospodářské noviny* [online]. Praha: Hospodářské noviny, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://auto.ihned.cz/c1-65578970-toyota-ktera-si-chce-povídat-hyundai-jako-kus-obyvaku-automobilky-perli-na-elektronickem-veletrhu>
- [6] Technologie v autech: head-up displej. *fDrive.cz* [online]. Praha: fDrive.cz, 2016 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-head-up-displej-176>
- [7] Weintek. *Weintek* [online]. Nová Tchaň-pej: Weintek, 2014 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: http://www.weintek.com/globalw/Product/Product_speciE.aspx
- [8] Rozlišení. *Wikipedie* [online]. Praha: Wikipedia, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozli%C5%A1en%C3%AD>
- [9] Contrast ratio explained. *BarcoTV* [online]. barcoTV, 2013 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Y5_1UwySrmQ
- [10] Contrast ratio. *CNET* [online]. Londýn: CNET, 2011 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/news/contrast-ratio-or-how-every-tv-manufacturer-lies-to-you/>
- [11] ŠTEFFAN, PAVEL. *Moderní zobrazovací součástky*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2013.
- [12] CENEFELS, VIKTOR. *Moderní zobrazovací jednotky*. Bakalářská práce. Praha: Bankovní institut vysoká škola Praha, 2012.
- [13] Newhaven Display TFT Displays. *Newhaven Display International* [online]. Elgin: Newhaven Display International, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: http://www.newhavendisplays.com/tft_page.html

- [14] EMD Performance Materials. *Function of LCD Technologies* [online]. USA: PERFORMANCE MATERIALS, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: http://www.emd-performance-materials.com/en/display/function_of_lcd_technologies/mva/mva.html
- [15] Panel Types. *Best Ultrawide Monitors* [online]. Washington: Best Ultrawide Monitors, 2016 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://bestultrawidemonitors.com/panel-types/>
- [16] PHOLED. *YourDictionary* [online]. Burlingame: YourDictionary, 2015 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://www.yourdictionary.com/pholed>
- [17] Illumination Displays. *SPIE* [online]. Bellingham: SPIE, 2013 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <http://spie.org/newsroom/5197-transparent-organic-leds-for-new-lighting-applications?SSO=1>
- [18] Dotykové displeje – z mobilů na velké plochy. *Notebook.cz* [online]. Bellingham: Notebook.cz, 2013 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://notebook.cz/clanky/technologie/2013/dotykové-displeje-z-mobilu-na-velké-plochy>
- [19] *AN10675: Interfacing 4-wire and 5-wire resistive touchscreens to the LPC247x* [online]. 2. Eindhoven: NXP, 2008 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10675.pdf>
- [20] Ovládání dotykem a gesty: od mobilů a her míří k počítači. *Živě.cz* [online]. Praha: Živě.cz, 2010 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/ovladani-dotykem-a-gesty-od-mobilu-a-her-miri-k-pocitaci/kapacitni-displeje-ovladani-pohybem-tela/sc-3-a-152778-ch-71900/default.aspx>
- [21] Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root.cz* [online]. Brno: Root.cz, 2009 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [22] Serial Peripheral Interface (SPI). *Sparkfun* [online]. USA: Sparkfun, 2012 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/slave-select-ss>
- [23] Sériový port RS-232. *Papouch.com* [online]. Praha: Papouch.com, 2015 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/website/mainmenu/clanky/jak-na-to/RS-232/>
- [24] RS-485. *Wikipedie* [online]. Praha: Wikipedie, 2016 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485#Technick.C3.A9_parametry
- [25] Fun and Easy USB - How the USB Protocol Works. *Youtube* [online]. Arduino Startups, 2016 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=F7NlCaaL3yU>
- [26] Ethernet. *Wikipedie* [online]. Wikipedie, 2017 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>
- [27] RONEŠOVÁ, ANDREA. *Přehled protokolu MODBUS*. Bakalářská práce. Plzeň: ZCU, 2005.
- [28] Onsemi. *Semiconductor Components Industries* [online]. *Semiconductor Components Industrie*, 2016 [cit. 2018-5-6]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC34063A-D.PDF>

- [29] Brooks instrument. *Direct industry* [online]. *Direct industry*, 2018 [cit. 2018-5-6]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/brooks-instrument/product-14565-954003.html>
- [30] AIRSEP CORPORATION. *PSA Oxygen Generator Onyx/Onyx+/Onyx Ultra*. Rev D. Buffalo, New York, USA: AirSep Corporation, 2012, 102 s. Dostupné také z: http://files.chartindustries.com/MN109-1_onyx-series_instruction-manual.pdf
- [31] OMI S.R.L. *06W.0021.14.000.T.A000 - CHILLER CHW 21: Water Chiller*. ID 2402. Fogliano Redipuglia, Itálie: OMI s.r.l., 2014. Dostupné také z: <http://www.omi-italy.it/zipstream-php-0.2.2/download.php?file=CHWM21.pdf>
- [32] OMI S.R.L. *REFRIGERATED COMPRESSED AIR DRYER: DD 36 230/1/50 [230/1/60]*. Rev.00. Fogliano Redipuglia, Itálie: OMI s.r.l., 2012. Dostupné také z: <http://www.omi-italy.it/zipstream-php-0.2.2/download.php?file=DD36.pdf>
- [33] BROOKS INSTRUMENT. *Electronic valve: GF80/GF81*. Rev 0. Hatfield, Pensylvánie, USA: Brooks instrument, 2017. Dostupné také z: <https://www.brooksinstrument.com/en/~media/brooks/documentation/products/mass-flow-controllers/metal%20sealed/gf80/mass-flow-controller-data-sheet-gf80-gf81.pdf>
- [34] VISHAY INTERTECHNOLOGY, INC. *Surface Mount Schottky Barrier Rectifier: SS12, SS13, SS14, SS15, SS16*. Revision: 08-Feb-17. Malvern, Pensylvánie, USA: Vishay Intertechnology, 2017. Dostupné také z: <https://www.vishay.com/docs/88746/ss12.pdf>
- [35] ANALOG DEVICES. *Hot Swappable, Dual I 2 C Isolators: ADUM1250/1251*. REv H. Norwood, USA: Analog Devices, 2015. Dostupné také z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADUM1250_1251.pdf
- [36] TEXAS INSTRUMENTS. *4-20mA CURRENT LOOP TRANSMITTERS: XTR115, XTR116*. REVISED NOVEMBER 2003. Dallas, Texas: Texas Instruments, 2000. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/xtr115.pdf>
- [37] MICROCHIP TECHNOLOGY. *12-Bit Digital-to-Analog Converter with EEPROM Memory*. REV 0. Chandler, Arizona, USA: Microchip technology, 2007. Dostupné také z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/MCP4725.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN, ZKRATEK

<i>HMI</i>	Uživatelské rozhraní (Human machine interface)
<i>EEPROM</i>	Elektricky mazatelná paměť (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Ilustrace zapojení systému pro výrobu aktivního kyslíku [2].....	9
Obrázek 2: Ukázka výbojového jiskřiště [3].....	9
Obrázek 3: Ilustrace technologie HoloActive touch vyvinutou společností BMW [5].	11
Obrázek 4: Ilustrace technologie Head-up displejů využitých v technologii HoloActive Touch společností BMW [6].....	11
Obrázek 5: Přehled rozlišení současných displejů [8].	14
Obrázek 6: Ilustrace displeje s vysokým CR (vlevo) a nízkým CR (vpravo) [10].	17
Obrázek 7: Ilustrace principu funkce LCD [13].....	19
Obrázek 8: Rozdělení LCD displejů [11].....	19
Obrázek 9: Princip TN+ Film displejů.	20
Obrázek 10: Princip IPS displejů.	21
Obrázek 11: Princip MVA displejů.....	22
Obrázek 12: Porovnání pozorovacích úhlů TN, IPS a PVA displeje [15].	22
Obrázek 13: Porovnání jednotlivých provedení LCD-LED displejů [15].	23
Obrázek 14: Rozdělení OLED displejů [14].	24
Obrázek 15: Struktura PMOLED displejů [15].....	25
Obrázek 16: Struktura AMOLED displejů [15].....	25
Obrázek 17: Struktura PHOLED displejů [19].	26
Obrázek 18: Princip rezistivní dotykové technologie [18].....	28
Obrázek 19: Princip snímání dotyku displeje [19].....	29
Obrázek 20: Princip čtení místa dotyku [19].	29
Obrázek 21: Princip čtení místa dotyku a registrace dotyku pro pětivodičovou rezistivní technologie [19].....	30
Obrázek 22: Struktura kapacitního displeje (vlevo) a princip čtení místa dotyku a registrace dotyku pro kapacitní technologii [20].	31
Obrázek 23: Princip datového přenosu na sběrnici I ² C [21].....	32
Obrázek 24: Princip datového přenosu na sběrnici SPI [22].	34
Obrázek 25: Struktura USB paketu.....	37
Obrázek 26: Ilustrace implementace Modbus protokolu pro různé sběrnice [27].	38
Obrázek 27: Struktura zprávy v případě využití Modbus RTU formátu [27].....	39
Obrázek 28: Struktura zprávy v případě využití Modbus ASCII formátu [27].	39
Obrázek 29: Struktura zprávy v případě využití Modbus TCP/IP formátu [27].....	39
Obrázek 30: Příklad rozložení Modbus registrů [27].....	40
Obrázek 31: Přehled důležitých veřejných kódů funkcí [27].....	40
Obrázek 32: 3D model rozvaděče průmyslového zařízení.....	45

Obrázek 33: Ilustrace představovaného průmyslového zařízení. Na sestavě je možné vidět rozvaděč (nahore vpravo), kyslíkový generátor (vlevo dole), chladicí jednotku vody (vpravo dole) a sušičku vzduchu (za kyslíkovým generátorem)	46
Obrázek 34: Graf nákladů výroby 1 g aktivního kyslíku.	47
Obrázek 35: Graf procentuální koncentrace aktivního kyslíku pro různé průtoky.	50
Obrázek 36: Graf výsledné produkce pro různé průtoky.	50
Obrázek 37: Graf procentuální koncentrace aktivního kyslíku na výkonu pro různé průtoky (zeleně vyznačeno 7 %).	51
Obrázek 38: Graf výsledné regulační křivky průtoku pro 7 % koncentraci.	52
Obrázek 39: Graf výsledné regulační křivky produkce pro 7 % koncentraci.	52
Obrázek 40: Ilustrační fotografie použitého elektronického ventilu GF80 [29].	53
Obrázek 41: Blokové schéma zapojení.	54
Obrázek 42: Výsledné schéma zapojení navrženého DC-DC měniče.	58
Obrázek 43: Výsledné schéma zapojení navržených digitálních vstupů.	58
Obrázek 44: Schéma zapojení navržených analogových vstupů. (zapojení zjednodušeno)	59
Obrázek 45: Zjednodušené schéma zapojení navržených analogových výstupů.	60
Obrázek 46: Schéma zapojení navržených periférií pro komunikaci s HMI displejem.	61
Obrázek 47: Schéma rozhraní zapojení bootloaderu přes sběrnici USB a signalizačních LED.	62
Obrázek 48: Zachycené reálné zprávy komunikace I ² C sběrnice a Modbus protokolu.	65
Obrázek 49: Výsledná hlavní obrazovka na HMI displeji.	67
Obrázek 50: Výsledná obrazovka Servisního menu Nastavení.	67
Obrázek 51: Výsledná změřená charakteristika produkce v porovnání s předpokládanou charakteristikou.	69

SEZNAM TABULEK

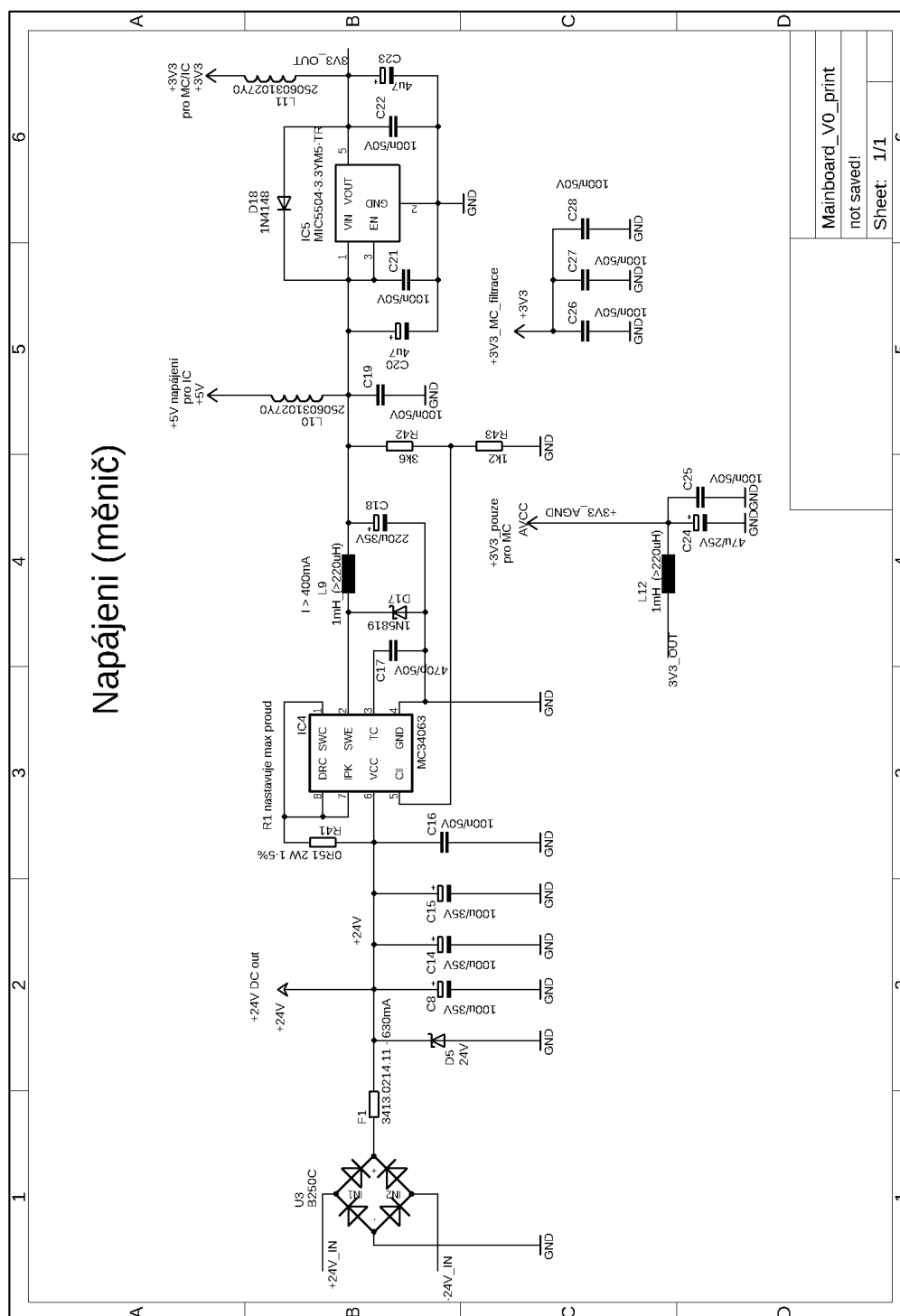
Tabulka 1: Tabulka míry ovlivnění CR na čitelnost displeje při osvitu sluncem [11]..	17
Tabulka 2: Tabulka znázorňující konfiguraci jednotlivých pinů pro 4 vodičovou technologii.....	29
Tabulka 3: Přehled základních parametrů jednotlivých dotykových technologií	31
Tabulka 4: Tabulka možných rychlostí sběrnice I ² C [21].....	33
Tabulka 5: Přehled rozložení registrů Modbus protokolu.....	40
Tabulka 6: Přehled dostupných HMI displejů.....	43
Tabulka 7: Přehled dostupných HMI displejů pokračování.....	43
Tabulka 8: Přehled dostupných HMI displejů poznámky	44
Tabulka 9: Změřené a vypočtené hodnoty pro průtok 10 l/min	48
Tabulka 10: Požadované parametry DC-DC měniče	55
Tabulka 11: Přehled implementovaných holding registrů.	68

SEZNAM PŘÍLOH

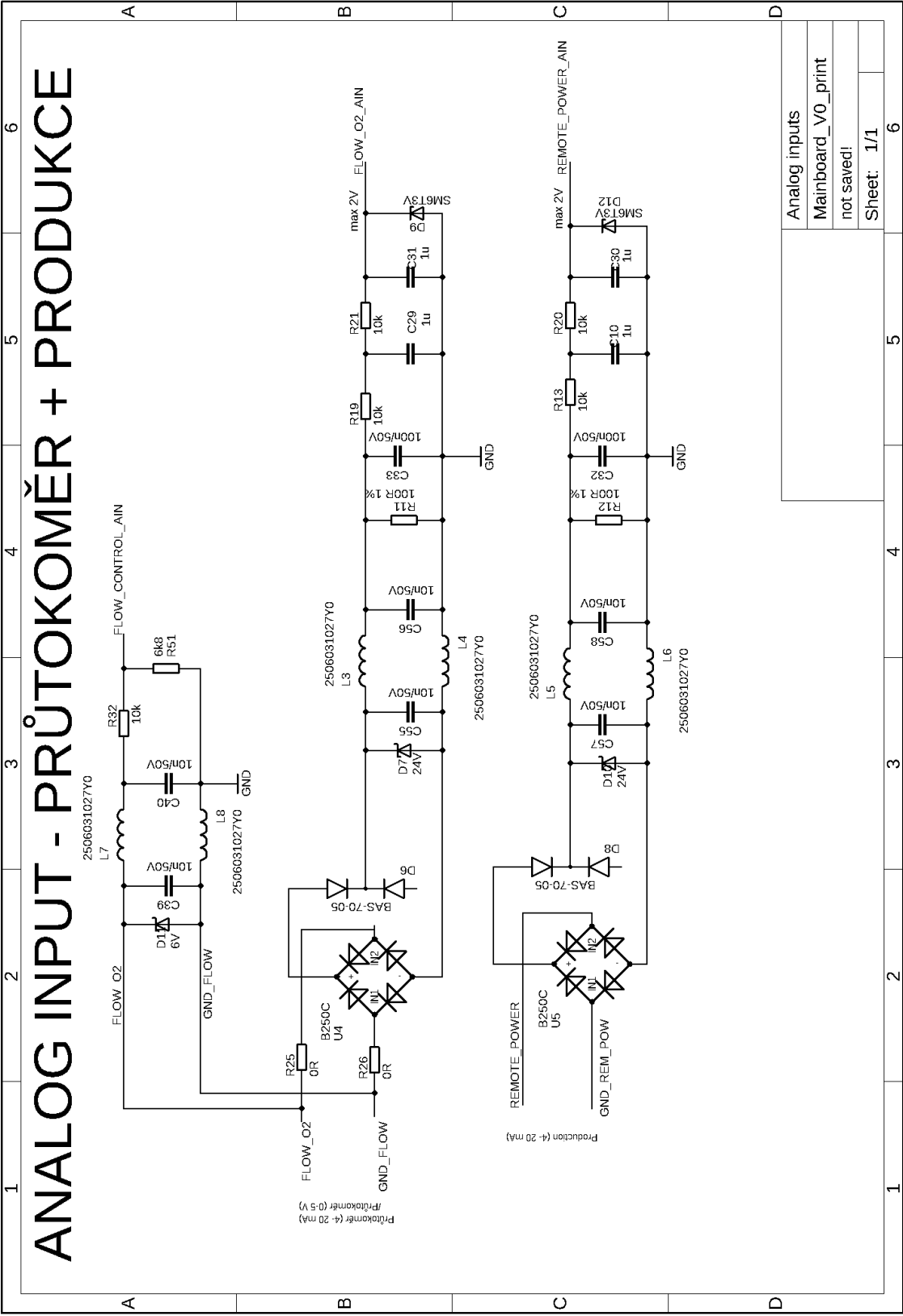
A	NÁVRH ŘÍDÍCÍ DESKY	79
A.1	Obvodové zapojení – napájecí obvod	79
A.2	Obvodové zapojení – analogové vstupy	80
A.3	Obvodové zapojení – analogový výstup (el. ventil)	81
A.4	Obvodové zapojení – analogový výstup (výkon)	82
A.5	Obvodové zapojení – další periferie	83
A.6	Obvodové zapojení – digitální vstupy	84
A.7	Obvodové zapojení – Mikrokontroler.....	85
A.8	Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	86
A.9	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	87
B	Výsledný design	88

A NÁVRH ŘÍDÍCÍ DESKY

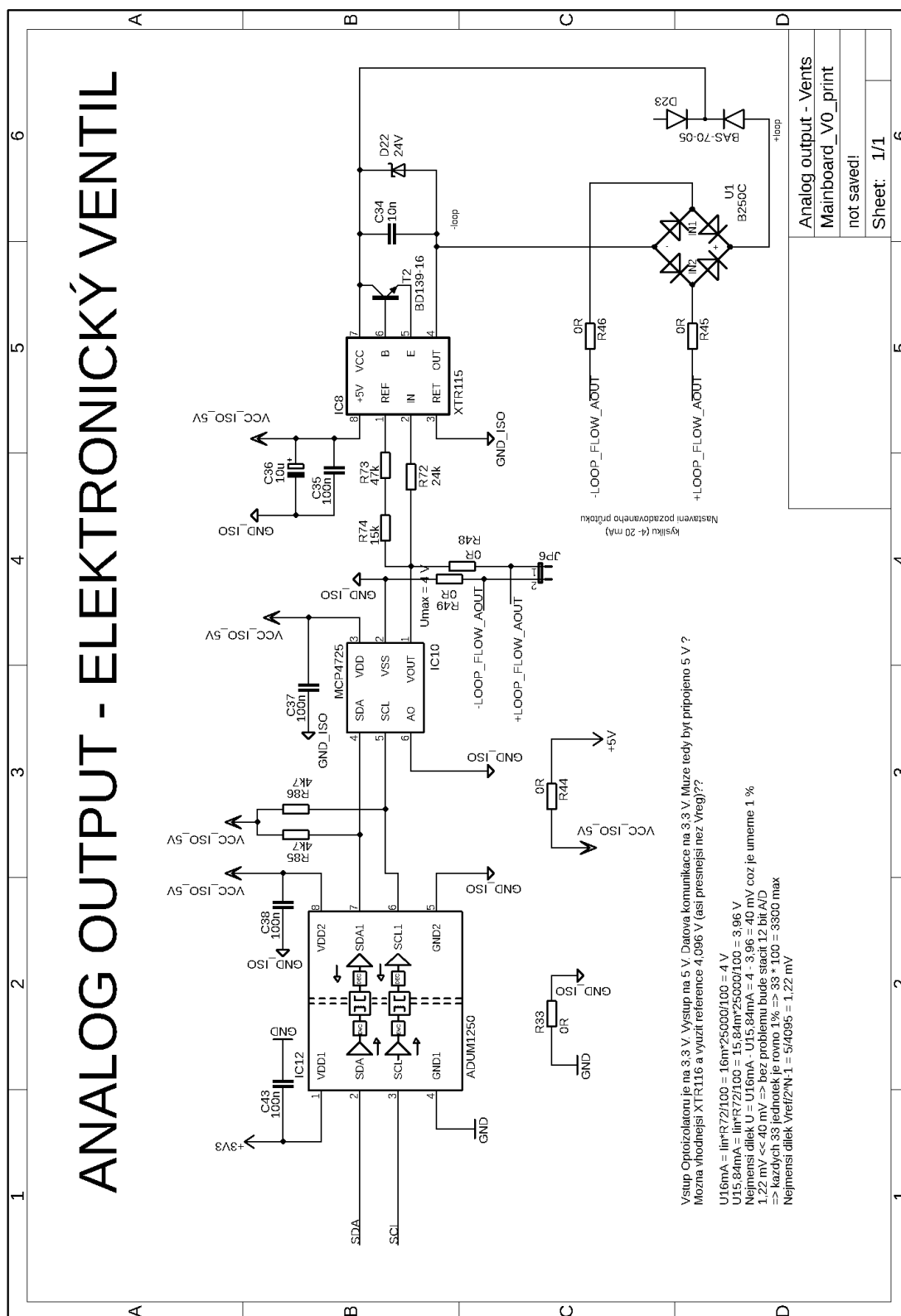
A.1 Obvodové zapojení – napájecí obvod



A.2 Obvodové zapojení – analogové vstupy



A.3 Obvodové zapojení – analogový výstup (el. ventil)



ANALOG OUTPUT - NASTAVENÝ VÝKON

Vstup Optoizolatoru je na 3.3 V. Výstup na 5 V. Datová komunikace na 3.3 V. Muže tedy být připojeno 5 V ?
 Možná vhodnější XTR116 a využití reference 4.096 V (asi přesnější než Vreg)??

$U_{16mA} = \ln(R7/2/100) = 16mV \cdot 25000/100 = 3.96 V$
 $U_{15.84mA} = \ln(R7/2/100) = 15.84mV \cdot 25000/100 = 3.96 V$
 Nejmenší dílek U = $U_{16mA} - U_{15.84mA} = 4 - 3.96 = 40 mV$ což je uneseme 1 %
 $1.22 mV < 40 mV \Rightarrow$ bez problému bude stačit 12 bit A/D
 \Rightarrow každých 33 jednotek je rovno 1% $\Rightarrow 33 \cdot 100 = 3300 \text{ max}$
 Nejmenší dílek Vref/2^{N-1} = $5/4095 = 1.22 mV$

Nastavení požadovaného výkonu
 menice (4-20 mA)

-LOOP POWER_AOUT
 +LOOP POWER_AOUT

U2
 B250C

-loop
 +loop

D1
 24V

C1
 10nF

T1
 BD139-16

T2
 BD139-16

R1
 24k

R2
 47k

R3
 15k

R4
 47k

R5
 47k

R6
 47k

R7
 47k

C2
 100nF

C3
 10uF

C4
 100nF

C5
 100nF

C6
 100nF

C7
 100nF

C8
 100nF

C9
 100nF

IC6
 MCP4725

IC7
 XTR115

IC9
 ADUM1250

VDD1
 3.3V

VDD2
 3.3V

VDD3
 3.3V

VDD4
 3.3V

VDD5
 3.3V

VDD6
 3.3V

VDD7
 3.3V

VDD8
 3.3V

VDD9
 3.3V

VDD10
 3.3V

VDD11
 3.3V

VDD12
 3.3V

VDD13
 3.3V

VDD14
 3.3V

VDD15
 3.3V

VDD16
 3.3V

VDD17
 3.3V

VDD18
 3.3V

VDD19
 3.3V

VDD20
 3.3V

VDD21
 3.3V

VDD22
 3.3V

VDD23
 3.3V

VDD24
 3.3V

VDD25
 3.3V

VDD26
 3.3V

VDD27
 3.3V

VDD28
 3.3V

VDD29
 3.3V

VDD30
 3.3V

VDD31
 3.3V

VDD32
 3.3V

VDD33
 3.3V

VDD34
 3.3V

VDD35
 3.3V

VDD36
 3.3V

VDD37
 3.3V

VDD38
 3.3V

VDD39
 3.3V

VDD40
 3.3V

VDD41
 3.3V

VDD42
 3.3V

VDD43
 3.3V

VDD44
 3.3V

VDD45
 3.3V

VDD46
 3.3V

VDD47
 3.3V

VDD48
 3.3V

VDD49
 3.3V

VDD50
 3.3V

VDD51
 3.3V

VDD52
 3.3V

VDD53
 3.3V

VDD54
 3.3V

VDD55
 3.3V

VDD56
 3.3V

VDD57
 3.3V

VDD58
 3.3V

VDD59
 3.3V

VDD60
 3.3V

VDD61
 3.3V

VDD62
 3.3V

VDD63
 3.3V

VDD64
 3.3V

VDD65
 3.3V

VDD66
 3.3V

VDD67
 3.3V

VDD68
 3.3V

VDD69
 3.3V

VDD70
 3.3V

VDD71
 3.3V

VDD72
 3.3V

VDD73
 3.3V

VDD74
 3.3V

VDD75
 3.3V

VDD76
 3.3V

VDD77
 3.3V

VDD78
 3.3V

VDD79
 3.3V

VDD80
 3.3V

VDD81
 3.3V

VDD82
 3.3V

VDD83
 3.3V

VDD84
 3.3V

VDD85
 3.3V

VDD86
 3.3V

VDD87
 3.3V

VDD88
 3.3V

VDD89
 3.3V

VDD90
 3.3V

VDD91
 3.3V

VDD92
 3.3V

VDD93
 3.3V

VDD94
 3.3V

VDD95
 3.3V

VDD96
 3.3V

VDD97
 3.3V

VDD98
 3.3V

VDD99
 3.3V

VDD100
 3.3V

VDD101
 3.3V

VDD102
 3.3V

VDD103
 3.3V

VDD104
 3.3V

VDD105
 3.3V

VDD106
 3.3V

VDD107
 3.3V

VDD108
 3.3V

VDD109
 3.3V

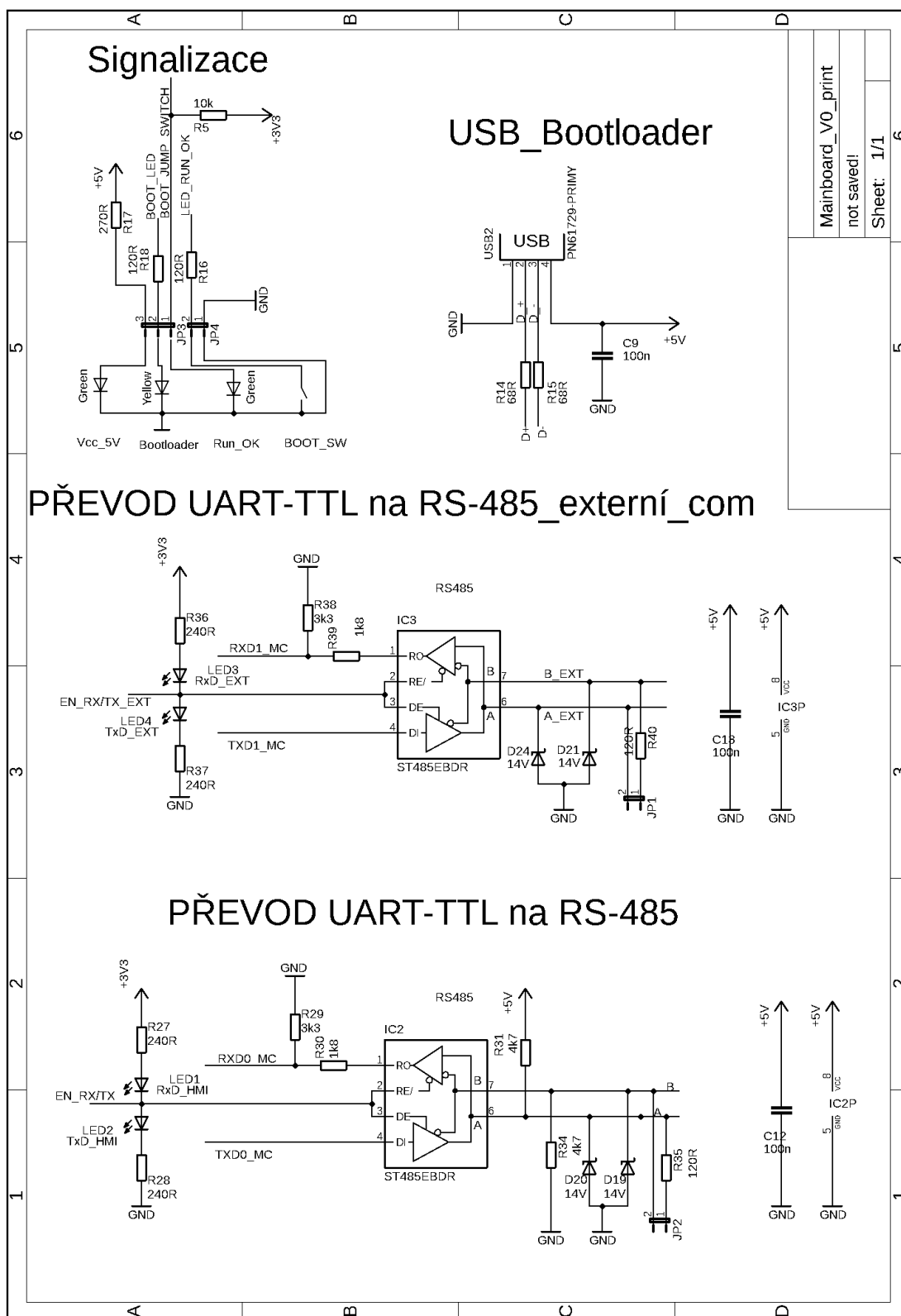
VDD110
 3.3V

VDD111
 3.3V

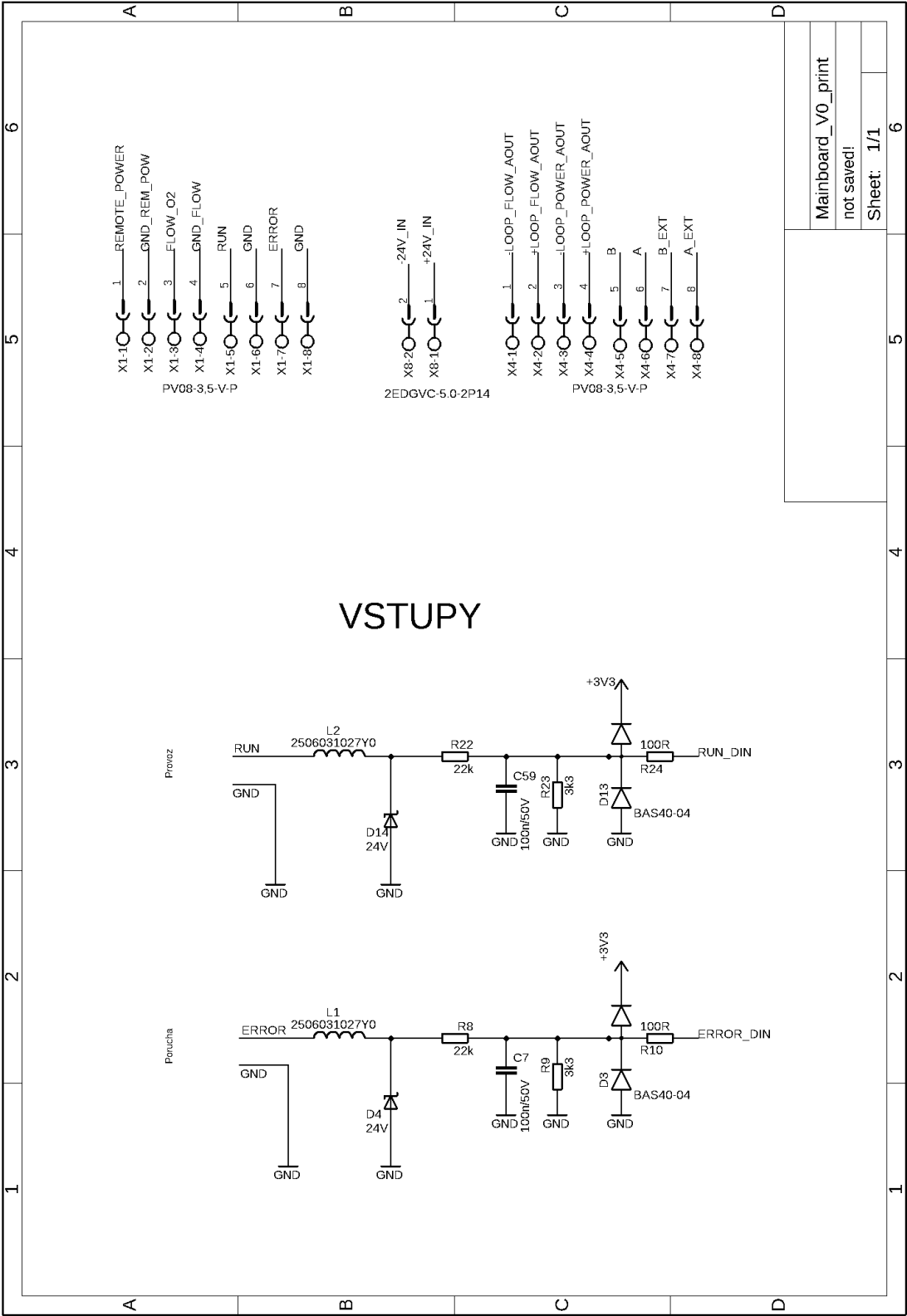
VDD112
 3.3V

VDD113

A.5 Obvodové zapojení – další periferie

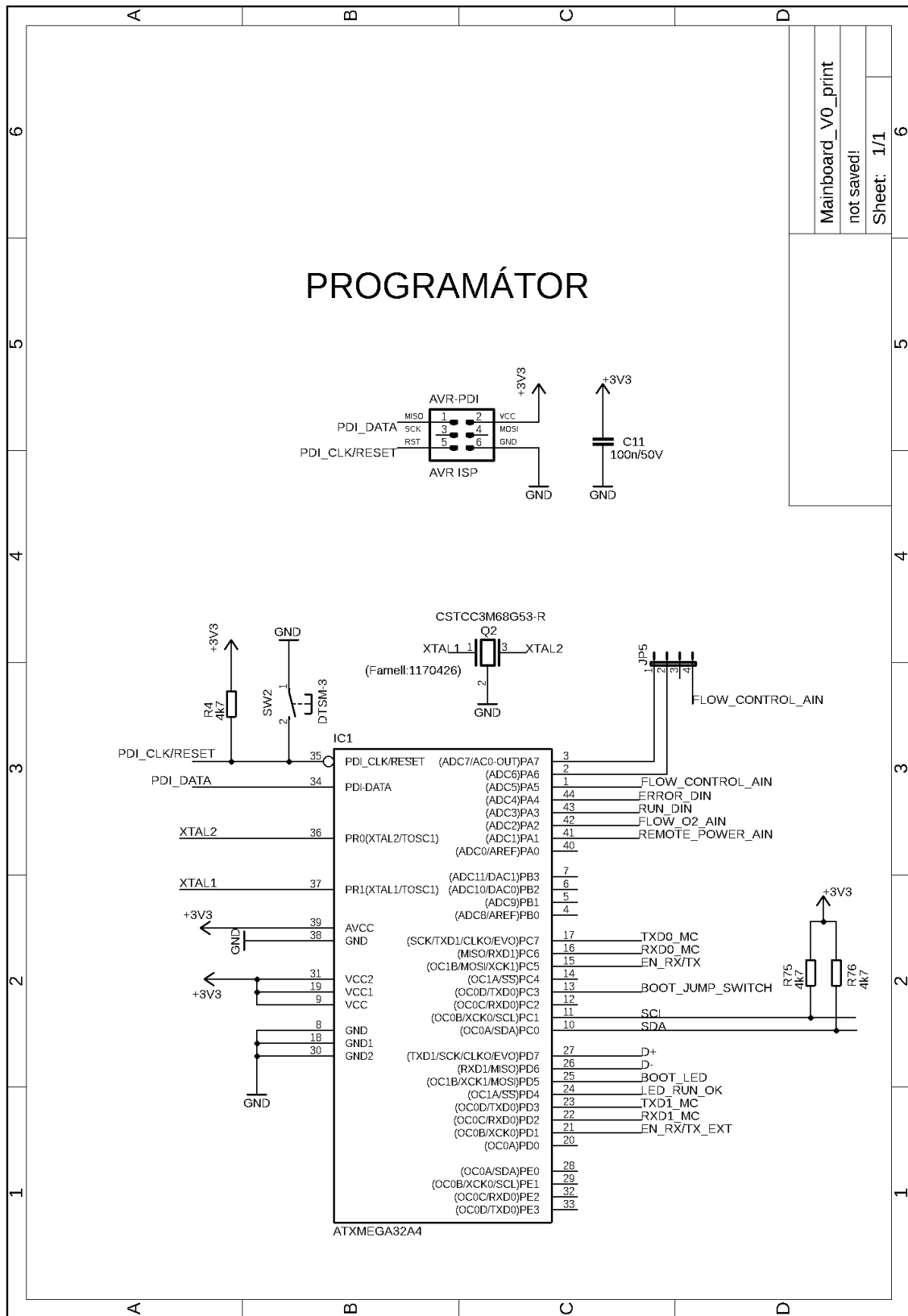


A.6 Obvodové zapojení – digitální vstupy

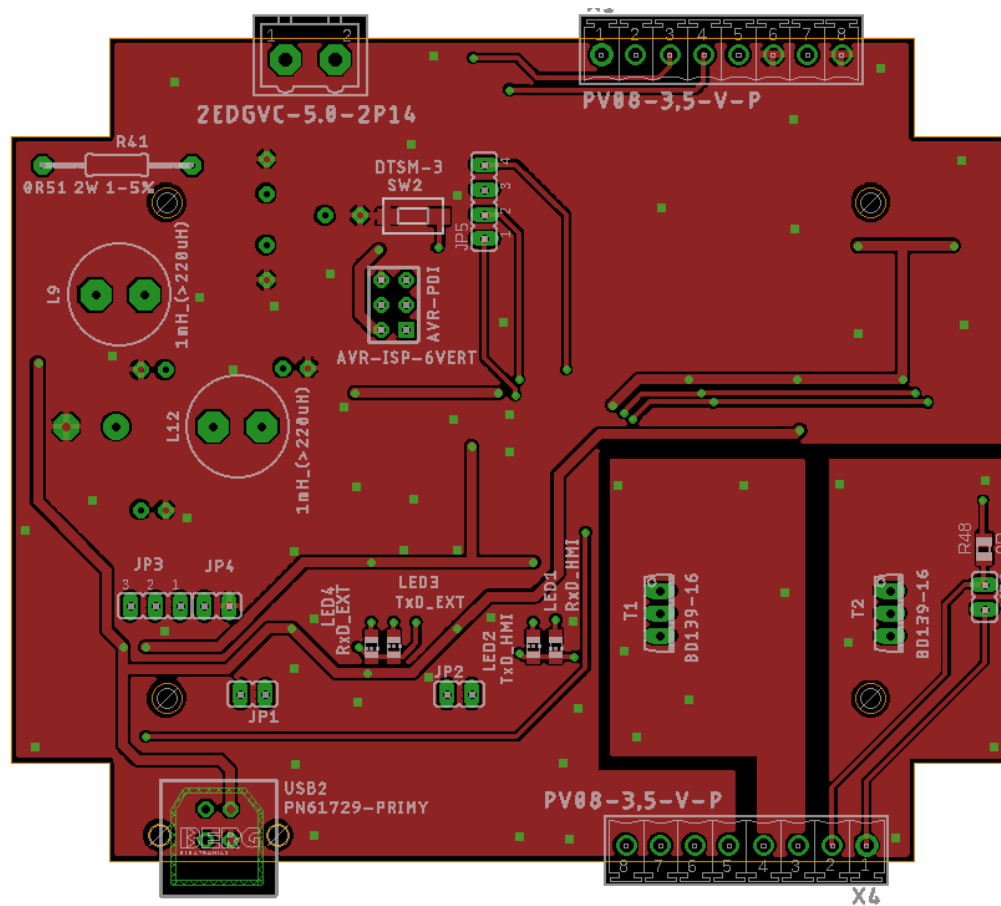


Mainboard_VO_print	
not saved!	
Sheet: 1/1	6

A.7 Obvodové zapojení – Mikrokontroler

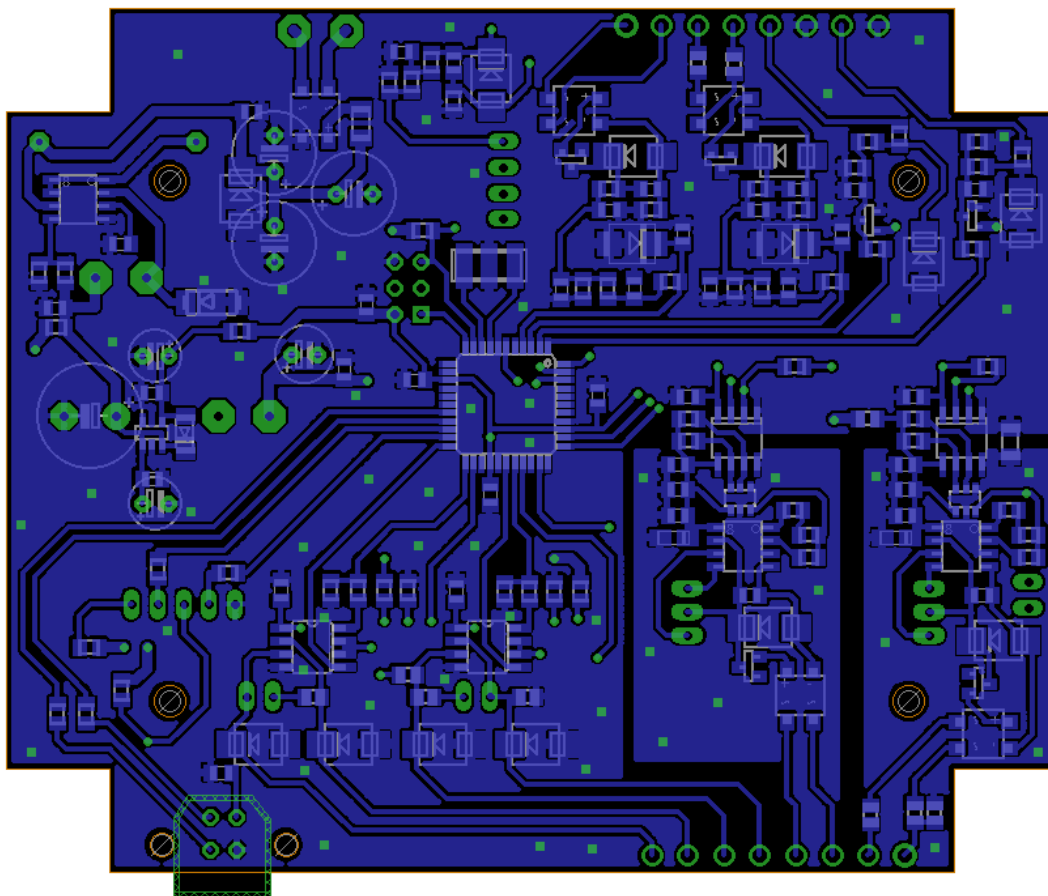


A.8 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



Rozměr desky 84 x 102 [mm], měřítko M1:1.

A.9 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 84 x 102 [mm], měřítko M1:1.

B VÝSLEDNÝ DESIGN



Navržená DPS zabudovaná do krabičky.